

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Concepção de uma aplicação informática para implementação de uma ferramenta de gestão ambiental

Tese de Mestrado

desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Académico

Luís Filipe Andrade Martins



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Departamento de Engenharia Química

Orientador: Fernando Gomes Martins

Co-Orientador: Belmira A.F. Neto

Março de 2009

Para a Margarida e Henrique

Agradecimentos

Quero dedicar este espaço a todos aqueles que contribuíram para este trabalho, de forma directa ou indirecta e sem os quais a conclusão deste trabalho não teria sido possível.

Um especial agradecimento ao meu orientador, professor Fernando Martins, pelo seu papel fundamental na execução deste projecto e pela sua enorme disponibilidade e compreensão.

Gostaria também de agradecer à minha Co-Orientadora, professora Belmira Neto, , a sua orientação na aplicação do modelo e a explicação detalhada da descrição dos principais processo e fluxos de materiais e energia presentes numa unidade de fundição injectada de alumínio.

Aos meus pais, que sempre me motivaram e incentivaram a concluir este projecto e por tudo aquilo que foram e são para mim.

À minha esposa, Margarida, que durante esta etapa da minha vida fez muitas vezes o papel de pai e mãe mostrando-se sempre disponível e compreensiva, o meu eterno obrigado.

Ao meu filho, Henrique, pelo tempo que se viu privado da minha atenção.

Resumo

A complexidade do tratamento das questões ambientais dificulta muitas vezes o processo de decisão, impedindo que sejam tomadas as melhores decisões para a melhoria do desempenho ambiental das empresas.

A utilização de ferramentas informáticas permite a avaliação simultânea de um maior número de variáveis ambientais e pode auxiliar na análise de casos de redução de poluição alternativos de modo a fornecer um bom suporte para as decisões relacionadas com a gestão ambiental.

Nesse sentido, este trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta informática capaz de avaliar as opções de redução de poluição de um dado processo, através da estimativa das emissões de poluentes e da avaliação dos impactes ambientais. A aplicação foi utilizada para avaliar os impactes ambientais de uma unidade de fundição injectada de alumínio e os resultados obtidos foram comparados com os obtidos numa outra ferramenta informática (EstimatER). A ferramenta EstimatER, é uma aplicação informática que permite a visualização dos resultados obtidos do impacte ambiental por simulação, por modelização, do processo produtivo de uma instalação fabril do sector da fundição injectada de alumínio. Este modelo foi desenvolvido de modo a permitir a análise de cenários de redução de carga poluente.

Os resultados obtidos nesta tese permitiram concluir que a aplicação é capaz de determinar correctamente as emissões dos poluentes e respectivos impactes ambientais e que os valores calculados por esta aplicação diferem menos de 0,1% dos resultados obtidos com a ferramenta alternativa EstimatER.

Palavras Chave (Tema): Gestão ambiental, Impacte ambiental, Ferramenta de decisão ambiental, Avaliação de ciclo de vida;

Abstract

The complexities of the environmental issues often makes harder the decision process, preventing the best measures are taken to improve the environmental performance of companies.

The use of software tools allows the simultaneous assessment of a greater number of environmental variables and the analysis of alternative scenarios, providing a good support for decisions related to environmental management.

This work consists in the development of a software tool able to evaluate reducing pollution options, by calculating the emissions of pollutants and assessment the environmental impacts. The software tool was tested to assess the environmental impacts of an Aluminium Die Casting plant and the results were compared with those obtained with another software tool for environmental decision (EstimatER).

The results have shown that the developed software tool is able to compute the emissions of pollutants and their environmental impacts. The differences were lesser than 0.1% for the results obtained by EstimatER and by the author software tool.

Keywords: Environmental Management, Environmental Impact, Environmental Decision Support Tool, Life Cycle Assessment;

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	1
1.2	Contributos do Trabalho.....	2
1.3	Organização da Tese	3
2	Estado da Arte	4
3	Modelo e aplicação informática	5
3.1	Modelo de Gestão Ambiental: MIKADO	5
3.2	A aplicação informática.....	9
3.2.1	Entradas	10
3.2.2	Processamento e Saídas.....	12
4	Resultados e Discussão.....	13
4.1	Caso de Estudo: Fundição injectada de alumínio	13
5	Conclusões	26
6	Avaliação do trabalho realizado.....	27
6.1	Objectivos Realizados.....	27
6.2	Limitações e Trabalho Futuro	27
6.3	Apreciação final	28
7	Referências	29
Anexo 1	Manual de Utilização da Aplicação.....	30

Lista de Tabelas

<i>Tabela 4.1 - Classificação e especificação das correntes de cada sub-processo</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 4.2 - Comparação do impacte global do processo calculado pela aplicação do autor com o obtido utilizando o Estimater.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 4.3 - Comparação do impacte global do processo calculado pela aplicação do autor com o obtido utilizando o Estimater, com opções de redução de poluição implementadas.</i>	<i>25</i>

Lista de Figuras

<i>Figura 3.1 - Representação do objecto processo e seu detalhe.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3.2 - Fluxos de dados na aplicação desenvolvida</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3.3 - Representação de um processo detalhado ao nível do sub-sub-processo com a indicação dos diferentes tipos de fluxo que podem ocorrer.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4.1 - Diagrama de processo para a unidade de fundição injectada de alumínio</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4.2 - Resultados calculados para o fluxo de alumínio nas correntes do processo.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4.3 - Exemplo de identificação das actividades e respectivos factores de actividade/ taxa de actividade para cada processo.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.4 - Actividades, poluentes e problemas ambientais gerados por sub-processo.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.5 - Exemplo de identificação dos poluentes gerados e respectivos factores de emissão.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4.6 - Resultados calculados para as emissões anuais.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4.7 - Definição dos factores de caracterização e normalização.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4.8 - Indicação dos factores de ponderação para o Método de Painel II.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4.9 - Impactes ambientais calculados para as quatro metodologias de valorização utilizadas. .</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4.10 - Factor de redução para os metais afectados pela utilização de um filtro de tecido.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4.11 - Activação/desactivação de actividades por efeito de opções de redução de poluição. ...</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4.12 - Impactes ambientais calculados considerando a implementação das três opções de redução de poluição. A azul estão destaca-se as diferenças relativas ao caso base.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4.13 - Contribuição dos impactes ambientais por processo com e sem opções de redução implementadas considerando o método “Todos os problemas ambientais são igualmente importantes”.</i>	<i>24</i>

Notação e Glossário

Act	Taxa de actividade	(unidade actividade/ano)
AF	Factor de Actividade	(unidade de actividade/massa)
AL	Fluxo de massa	(ton/ano)
C	Custos anuais totais	(€/ano)
CI	Custo anual do capital	(€/ano)
$CF_{z,x}$	Factor de caracterização para categoria de impacte ambiental z devida ao poluente x	
CO_{τ}	Custos fixos para a opção de redução τ	(€/ano)
CV	Custos variáveis	(€/ano)
C_{na}	Custo líquidos adicionais	(€/ano)
EF	Factor de emissão	(unidade de actividade / ton)
E_x	Emissão total do poluente x	
I_{τ}	Investimento devido à opção τ	€
lt_{τ}	Tempo de vida da opção de redução	anos
M	Impacte ambiental global	adimensional
M_{z,p_i}	Impacte ambiental para categoria de impacte ambiental z devida ao sub-processo p_i	adimensional
NF_z	Factor de normalização	
O_{τ}	Fracção do investimento	
P	Preço da actividade	€/unidade de actividade
r	Taxa de juro	
RF	Factor de redução	%
W_F	Factor de ponderação	

Letras gregas

α	Índice para tipo de actividade
τ	Índice para o tipo de opção de redução

Índices

i	Índice de sub-processo
j	Índice de sub-sub-processo
p	Índice de processo
x	Índice par o tipo d epoluento emitido
z	Índice para categoria de impacte ambiental

Lista de Siglas

HTP	Potencial de Toxicidade Humana
ECP	Potencial de Ecotoxicidade Terrestre
GWP	Potencial de Aquecimento Global
ACP	Potencial de Acidificação
POFP	Potencial de Formação de ozono troposférico
ADP	Potencial de Redução Abiótica
ATP	Potencial de Ecotoxicidade Aquática
SWP	Potencial de Produção de Resíduos Sólidos

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

Desde sempre o homem sempre foi dependente dos recursos que a natureza lhe proporciona. As várias transformações económicas e sociais que têm ocorrido, em ritmos cada vez mais acelerados, conduziram a um aumento do sistema produtivo. Inerente a este crescimento, sobressaiu quase sempre a ideia que a natureza funcionava, por um lado como uma fonte inesgotável de matéria-prima e energia, por outro lado, como um poço pronto a absorver as múltiplas formas de poluição que surgiram com o crescimento das actividades produtivas.

Actualmente a ideia de um desenvolvimento sustentável, onde se procura o equilíbrio entre a preservação de recursos e a melhoria continua das condições de vida do homem, ganha cada vez mais peso junto da sociedade em geral e em particular junto das organizações empresariais. Por esse facto, o planeamento e a gestão ambiental tornam-se cada vez mais essenciais.

As estratégias actuais de gestão das empresas passam por incluir mais medidas que visam a melhoria do desempenho ambiental de forma a evitara incursão em ilegalidades ambientais ou prejudicar a imagem da organização no mercado.

Os problemas que se colocam à Gestão Ambiental, são na sua maioria, problemas com elevado grau de complexidade e incerteza. Por isso, a utilização de modelos matemáticos tornou-se mais recorrente na simulação de cenários reais ou virtuais que têm como objectivo avaliar o agravamento ou a melhoria do desempenho ambiental, devidos a uma determinada decisão com implicações no processo produtivo (Xavier *et al.*, 2007).

Nesse contexto surge o modelo matemático MIKADO. Este modelo foi concebido para avaliar as opções de redução de poluição de uma unidade fundição injectada de alumínio. O modelo foi desenvolvido tendo como perspectiva o lado da empresa para que pudesse ser utilizado como ferramenta de suporte à decisão de gestão ambiental e utiliza um conjunto de ferramentas analíticas, das quais se destaca a avaliação do ciclo de vida, que permitem avaliar os problemas ambientais causados pela actividade da empresa (Neto, 2007).

A aplicação do modelo MIKADO na análise e avaliação de opções de redução de poluição foi efectuada com auxílio de uma aplicação informática denominada EstimatER. Esta aplicação é uma ferramenta de interface desenvolvida pelo European Topic Centre on Air and Climate Change e tem sido utilizada sobretudo na avaliação de emissões no sector da agricultura (ETC/ACC, 2001).

A principal desvantagem da utilização desta aplicação é a dificuldade dos utilizadores finais poderem caracterizar facilmente novos processos. A modelização de novos processos no EstimatER necessita do desenvolvimento de novas bibliotecas com informações do processo, sendo que essa tarefa é normalmente executada por especialistas nas áreas de estudos de impacto ambiental e da tecnologia associada às opções de redução. Por outro lado, a criação de novas bibliotecas com informações do processo é normalmente executada pela equipa que desenvolveu a aplicação. Pelas razões indicadas, facilmente se conclui que a aplicação EstimatER não é flexível, pois não permite uma generalização com vista à definição de novos processos.

Neste trabalho tentou-se generalizar o conceito utilizado no MIKADO e estender a sua aplicação a outros processos produtivos de uma forma fácil e intuitiva. Para isso foi desenvolvida uma ferramenta informática que tem como núcleo a modelização utilizada pelo MIKADO mas que, ao contrário da aplicação EstimatER, pode ser utilizada facilmente por utilizadores com pouca experiência. Procurou-se assim criar uma aplicação em que seja possível, de forma simples, definir um processo com o objectivo de avaliar as opções de redução de poluição disponíveis. Esta avaliação é efectuada através do cálculo das emissões de poluentes, avaliação dos impactos ambientais causados e estimativa de custos associados à implementação das referidas opções. Em alguns casos poderá ser necessário complementar a aplicação com módulos extra para uma melhor caracterização do processo.

1.2 Contributos do Trabalho

A aplicação desenvolvida neste trabalho permite que um utilizador, conhecedor de um determinado processo, o possa caracterizar sem necessidade de recorrer a equipas especializadas ou desenvolver de raiz uma ferramenta específica para o processo em estudo.

Com esta ferramenta é possível estimar as emissões de poluentes de um determinado processo produtivo e avaliar o impacto ambiental de cada uma das etapas processuais do processo. Pode ser também utilizada para avaliar os resultados da implementação de opções de redução de poluição em termos de redução de emissões de poluentes e consequente diminuição dos impactos ambientais.

A aplicação foi desenvolvida em Microsoft Visual Basic 2005™ e é suportada por uma base de dados Microsoft Access onde são armazenados os dados relativos ao processo em estudo. A utilização de uma base de dados na aplicação, procura ser uma mais-valia para este projecto uma vez que no futuro vai permitir constituir ou utilizar bibliotecas de processos padrão.

Pretende-se com o resultado deste trabalho, criar uma ferramenta versátil, adaptável a qualquer processo produtivo e que sirva de suporte à decisão na gestão ambiental de uma empresa.

1.3 Organização da Tese

A tese encontra-se dividida em seis capítulos.

No Capítulo 1 é feita uma apresentação do projecto, dos seus objectivos e da metodologia utilizada na sua execução.

No Capítulo 2 é feita uma pequena introdução sobre o tipo de ferramentas informáticas aplicadas à monitorização e gestão ambiental que existem no mercado, bem como as suas vantagens.

No Capítulo 3 é feita uma descrição detalhada do modelo que suporta a aplicação desenvolvida, e os pressupostos da sua aplicação. Neste capítulo é também explicado o funcionamento da aplicação desenvolvida e o algoritmo de cálculo utilizado.

O caso de estudo deste projecto e os resultados obtidos são apresentados no Capítulo 4.

As conclusões do trabalho efectuado e as possibilidades de aplicação deste trabalho são apresentadas no Capítulo 5.

Finalmente no Capítulo 6 é efectuada uma avaliação crítica do trabalho desenvolvido, identificando-se as limitações actuais e dando ênfase às melhorias que podem e devem ser implementadas.

2 Estado da Arte

Apesar das primeiras ferramentas informáticas aplicadas à monitorização e gestão ambiental focarem principalmente o tratamento de águas residuais e o destino de resíduos, hoje em dia a utilização destes sistemas tem tendência a tornar-se cada vez mais abrangente na gestão ambiental de organizações de diferentes segmentos produtivos (Xavier *et al.*, 2006).

Os utilizadores deste tipo de sistemas podem ser classificados em duas categorias:

- O “Cientista Ambiental”, utilizador que normalmente pretende desenvolver e testar experimentalmente modelos.
- O “Gestor Ambiental”, que precisa de modelos prontos a utilizar e que estão normalmente integrados nas ferramentas de suporte à decisão ambiental.

A maior parte das aplicações comerciais desenvolvidas estão na sua maioria focadas para o primeiro tipo de utilizador e, apesar de poderosas e flexíveis, são normalmente generalistas e não se restringem à modelação dos sistemas ambientais.

Mais recentemente, com o desenvolvimento das interfaces gráficas, a programação visual ganhou um maior peso. Emergiram então novas ferramentas que conjugam a programação visual com as capacidades de modelização. Neste tipo de sistemas os modelos são desenhados visualmente através da ligação de vários blocos de processamento. Este tipo de ferramenta é que mais se ajusta ao segundo tipo de utilizador (Rizzoli and Young, 1997).

Actualmente há uma tendência, para além da programação visual, para que os sistemas desenvolvidos integrem modelos, bases de dados e outros mecanismos de suporte à decisão e gestão ambiental. As duas aplicações que reclamam ser as mais utilizadas, no âmbito da modelização de processos e impactes ambientais são, respectivamente, o software designado comercialmente por Umberto e o Sima Pró. Estes dois softwares são um bom exemplo deste tipo de aplicações usadas para assistir a decisão ambiental.

Estas aplicações reúnem uma grande variedade de ferramentas e de informações que permitem os mais diversos tipos de análise. Esta vasta oferta tem obviamente um custo bastante elevado para o utilizador, que faz com que este muitas vezes prefira apenas cumprir com as restrições impostas pela legislação ambiental ao invés de investir numa ferramenta que lhe iria permitir ter uma atitude pró-activa em termos de gestão ambiental.

3 Modelo e aplicação informática

3.1 Modelo de Gestão Ambiental: MIKADO

O modelo que serviu de base para a concepção da aplicação informática para suporte à Gestão Ambiental foi o MIKADO. Este modelo tem como finalidade caracterizar o desempenho ambiental de uma organização, através da quantificação do impacte ambiental do processo e de uma avaliação de cenários incluindo opções de redução da carga poluente. Deste modo pode servir de alicerce para futuras decisões relativas à gestão ambiental.

O modelo tem como objecto básico de estudo um processo. O processo contém informações sobre as trocas materiais com o meio ambiente, nomeadamente as entradas de matérias-primas, energia e outros materiais auxiliares, as saídas de produtos finais e implicações ambientais geradas. Todas as trocas estão relacionadas com a taxa de actividade do processo que pode ser referente às entradas ou saídas do mesmo. Neste caso, a abordagem foi realizada com base nas saídas, ou seja no produto produzido cuja taxa serviu para calcular todas as saídas e implicações ambientais geradas pelo processo.

A concepção deste modelo teve como objectivo a sua utilização por parte dos gestores de uma organização, por isso faz sentido detalhar um processo nos vários sub-processos ou mesmo sub-sub-processos que o constituem (Figura 3.1). A metodologia de avaliação de impacte ambiental utilizada no MIKADO baseia-se, para a determinação do impacte ambiental, na ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida. No entanto, o sistema analisado inclui apenas os processos produtivos que podem ser controlados ou de algum modo alterados pelos responsáveis de gestão da organização. Esta metodologia baseia-se no pressuposto que a capacidade de uma organização actuar sobre as actividades que ocorrem externamente é limitada, independentemente do quão significativo possa ser o impacto causado por essa actividade.

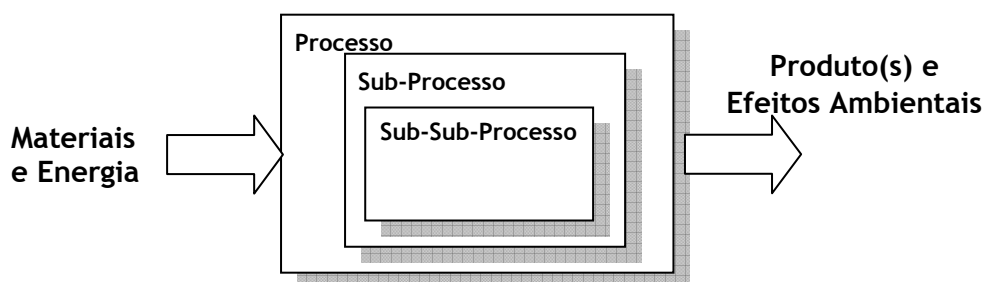


Figura 3.1 - Representação do objecto processo e seu detalhe

O núcleo do modelo centra-se na conservação e no fluxo de massa através dos sucessivos sub-processos e está estruturado para que qualquer sub-processo receba todas as entradas do sub-processo anterior. Finalmente, as saídas do MIKADO incluem os semi (sub)-produtos, a emissão de poluentes, efluentes líquidos e sólidos e os potenciais impactos que estes causam no meio ambiente.

A caracterização do processo é feita numa estrutura de árvore, que permite identificar as necessidades de materiais e energia (actividades) nos níveis mais baixos (sub-sub-processos) e somar as mesmas no nível mais elevado (processo).

Os dados das actividades referem-se sempre às entradas de cada sub-processo. Desta forma o modelo calcula as necessidades de entrada em cada sub-sub-processo para a taxa de produção definida, baseando-se nos valores de emissão e de reciclagens existentes no processo.

As emissões e resíduos produzidos são calculados no modelo como função da Taxa de actividade (Act) em cada sub-sub-processo (p_{ij}). A taxa de actividade mede a utilização de materiais e energia em cada sub-sub-processo. As emissões são calculadas assumindo uma relação linear entre a taxa de actividade e a emissão específica de um dado poluente (x) em que a constante de proporcionalidade é denominada por factor de emissão (EF). A emissão total (E_x) é obtida pelo somatório de todas as emissões do poluente (x) resultante da utilização de todas as actividades (α) em todos os sub-sub-processo (p_{ij}). As equações que descrevem o modelo são as seguintes:

$$E_{x,pi} = \sum_j \sum_{\alpha} (Act_{\alpha_{ij}} \cdot EF_{ij,\alpha_{ij},x}) \quad (3.1)$$

A Equação 3.1 calcula a emissão de um poluente em cada nível de sub-processo. Esta equação é aplicável a todos os tipos de emissão.

As emissões dos poluentes podem resultar directamente de uma actividade α que pode ser directamente proporcional (expressa pelo factor de actividade AF):

- i) à massa do material que serve como base de cálculo (AL);
- ii) ao consumo do próprio material;
- iii) ou ser independente desse mesmo material.

Por esse facto a taxa de actividade em cada caso pode ser avaliada pelas Equações 3.2, 3.3 ou 3.4, respectivamente.

$$Act_{\alpha_{ij}} = AL_{ij} \cdot AF_{\alpha_{ij}} \quad (3.2)$$

$$Act_{\alpha_{ij}} = AL_{ij} \quad (3.3)$$

$$Act_{\alpha_{ij}} = Act_{\alpha_{ij}} \quad (3.4)$$

A emissão total de um poluente x no processo p é calculada pela Equação 3.5 e resulta do somatório de todas as emissões do referido poluente.

$$E_x = \sum_{p_i} (E_{x,p_i}) \quad (3.5)$$

Uma vez calculadas as emissões o passo seguinte é a determinação do impacte ambiental causado pelo processo (M_{p_i}). A metodologia seguida pelo MIKADO acompanha as tendências correntes da avaliação de ciclo de vida e assenta em três passos (Pennington *et al.*, 2004; Neto, 2007): Caracterização, Normalização e Ponderação. Os impactes ambientais potenciais foram avaliados no sentido de verificar a existência de uma diminuição dos recursos naturais, da existência de emissões, resíduos sólidos e líquidos resultantes da actividade da organização. Estes potenciais podem ser enquadrados nas seguintes categorias:

- Toxicidade Humana (HT)
- Ecotoxicidade Terrestre (EC)
- Aquecimento Global (GW)
- Acidificação (AC)
- Formação de ozono troposférico (POF)
- Redução Abiótica (AD)
- Ecotoxicidade Aquática (AT)
- Produção de Resíduos Sólidos (SW)

Os impactes potenciais, gerados em cada sub-processo, são calculados pela Equação 3.6 utilizando os factores de caracterização (CF), normalização (NF) e de ponderação (WF), de acordo com os passos mencionados anteriormente.

$$M_{p_i} = \sum_z \left(\frac{E_{x,p_i} \cdot CF_{zx}}{NF_z} \right) \cdot WF_z \quad (3.6)$$

Finalmente, o impacte global do processo obtém-se pelo somatório do potencial impacte ambiental de cada um dos sub-processos, como se pode verificar na Equação 3.7

$$M = \sum p_i (M_{p_i}) \quad (3.7)$$

As equações descritas até aqui definem o chamado caso base do modelo, em que o processo industrial em estudo é descrito na sua forma de utilização normal sem implementação de técnicas de redução de poluição. No entanto, o MIKADO foi concebido de forma a ser possível introduzir no processo técnicas de redução de poluição e avaliar o impacte das mesmas na redução de poluentes libertados. A Equação 3.8 mostra como calcular as emissões de um dado poluente num sub-processo, após a implementação de técnicas de redução de poluição. Como se pode verificar a equação é idêntica à Equação 3.1 mas contempla agora um factor de redução (RF) introduzido pela técnica de controlo de poluição. De referir que as técnicas implementadas podem alterar as emissões através da introdução de factores de redução, da modificação das taxas de actividade, ou da redução do factor de emissão ou ainda através da combinação destes três factores.

$$E_{x,pi} = \sum_j \sum_{\alpha} \sum_{\tau} \left(Act_{\alpha_{ij}} \cdot EF_{ij,\alpha_{ij},x} \cdot \left(\frac{100 - RF_{x,\tau}}{100} \right) \right) \quad (3.8)$$

No entanto, em alguns casos, a técnica de redução de poluição poderá introduzir uma actividade extra ($X\alpha$) e cujas emissões de poluentes podem ser calculadas com auxílio das Equações 3.9 e 3.10 ou 3.11.

$$E_{x,pi} = \sum_j \sum_{X\alpha} \sum_{\tau} \left(Act_{X\alpha_{ij},\tau} \cdot EF_{ij,X\alpha_{ij},x,\tau} \right) \quad (3.9)$$

$$Act_{X\alpha_{ij},\tau} = AL_{ij} \cdot AF_{X\alpha_{ij}} \quad (3.10)$$

$$Act_{X\alpha_{ij},\tau} = AL_{ij} \quad (3.11)$$

A introdução de opções de redução de poluição tem um custo associado que é calculado pelas Equações 3.12 a 3.17. O custo do investimento total anual é calculado pela Equação 3.12 e é função do investimento efectuado (I_t), do tempo de vida do equipamento (l_t) e da taxa de

juro (r). A Equação 3.13 permite estimar os custos fixos operacionais como fracção (o_τ) do investimento.

$$CI_\tau = I_\tau \cdot r \cdot \frac{(1+r)^{lt_\tau}}{((1+r)^{lt_\tau}-1)} \quad (3.12)$$

$$CO_\tau = I_\tau \cdot O_\tau \quad (3.13)$$

As Equações 3.14 e 3.15 permitem calcular, respectivamente, os custos operacionais para o caso base e para o caso em que pelo menos uma opção de redução de poluição foi implementada. Nestas equações é considerada a quantidade e o preço da matéria-prima ($AL_{raw,zerocase}$ e P_{raw}) bem como o preço da actividade ($P_{\alpha_{ij}}$).

$$CV_{zerocase} = AL_{raw,zerocase} \cdot P_{raw} + \sum_i \sum_j (Act_{\alpha_{ij},zerocase} \cdot P_{\alpha_{ij}}) \quad (3.14)$$

$$CV = AL_p \cdot P_{ing} + \sum_i \left[\left(\sum_j \sum_\alpha (Act_{\alpha_{ij}} \cdot P_{\alpha_{ij}}) \right) + \left(\sum_j \sum_{X\alpha} (Act_{X\alpha_{ij}} \cdot P_{X\alpha_{ij}}) \right) \right] \quad (3.15)$$

O custo total (C) da implementação de uma ou mais técnicas de redução de poluição é obtido a partir da Equação 3.16. E, por fim, o custo líquido adicional (C_{na}) da implementação de técnicas de redução é dado pela Equação 3.17.

$$C = \sum_\tau (CI_\tau + CO_\tau) + CV \quad (3.16)$$

$$C_{na} = C - C_{zerocase} \quad (3.17)$$

3.2 A aplicação informática

A aplicação informática foi desenvolvida em Microsoft Visual Basic 2005™, utilizando como modelo as equações referidas na Secção 3.1. Os dados introduzidos pelo utilizador e os calculados pela aplicação são armazenados numa Base de Dados que serve de suporte à aplicação e que permitem definir vários casos de redução de poluição no mesmo processo. Esta Base de Dados poderá também funcionar como biblioteca em que, por exemplo, será possível obter dados de factores de emissão de literatura ou de outros processos semelhantes.

Na Figura 3.2 resume-se os fluxos de informação necessários para o funcionamento da aplicação, que serão descritos com mais detalhe em seguida.

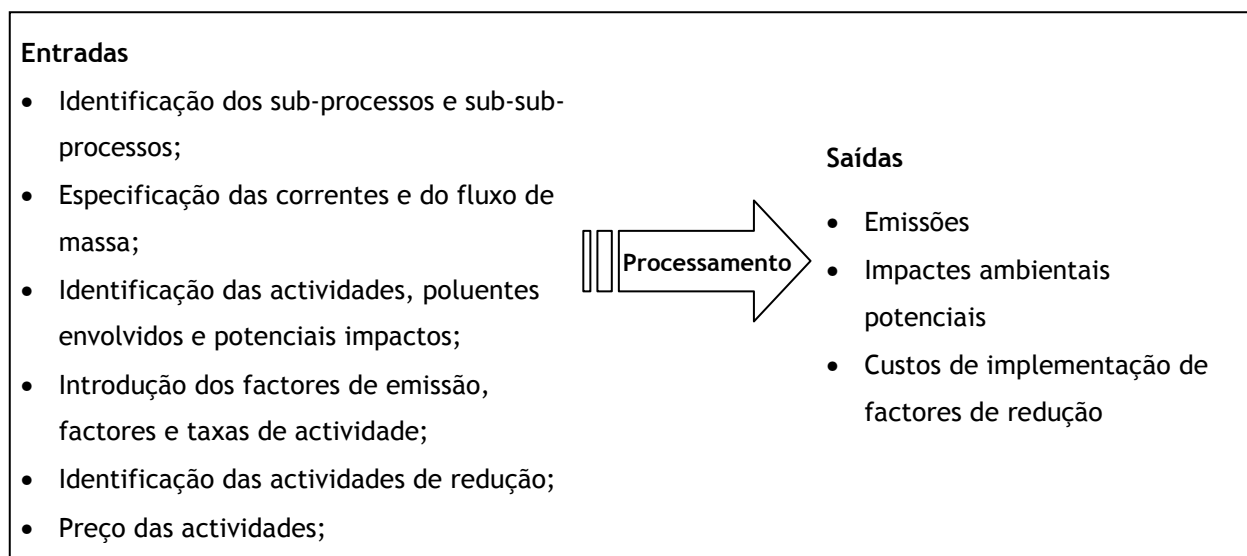


Figura 3.2 - Fluxos de dados na aplicação desenvolvida

3.2.1 Entradas

Na aplicação do modelo é necessário definir o processo e (sub-)sub-processos que o constituem bem como especificar a taxa de produção pretendida (i.e. quantidade de produto produzido por ano). Uma vez que os dados de actividade referem-se sempre às entradas dos sub-processos, será necessário especificar as perdas e as reciclagens de cada sub-processo em função da quantidade de material alimentado a esse mesmo sub-processo.

Assim, o utilizador terá de identificar e numerar os sub-processos existentes e, de forma a prevalecer a estrutura em árvore, a notação a utilizar deve ser numérica e recursiva em que o primeiro dígito representa o processo, o segundo dígito o sub-processo e o terceiro dígito o sub-sub-processo. Por exemplo, para um dado processo 1 o 1º sub-processo será catalogado como 11 e o seu 1º sub-sub-processo como 111.

Uma vez definidos os sub-processos, será necessário identificar e especificar as correntes de fluxo que ligam os sub-processos. São possíveis 5 tipos de correntes: entrada, saída, ligação, reciclo e perdas. Todas as correntes de saída têm de ser obrigatoriamente especificadas. As correntes de reciclo e de perdas têm de ser especificadas em relação à corrente de entrada do sub-processo em causa. As restantes serão calculadas com base nos dados introduzidos. Em cada sub-processo deverão ser indicadas as correntes que entram e saem daquele sub-processo.

A Figura 3.3 mostra um exemplo de um processo em que podem ser identificados os vários níveis do processo e os vários tipos de fluxo contemplados no modelo.

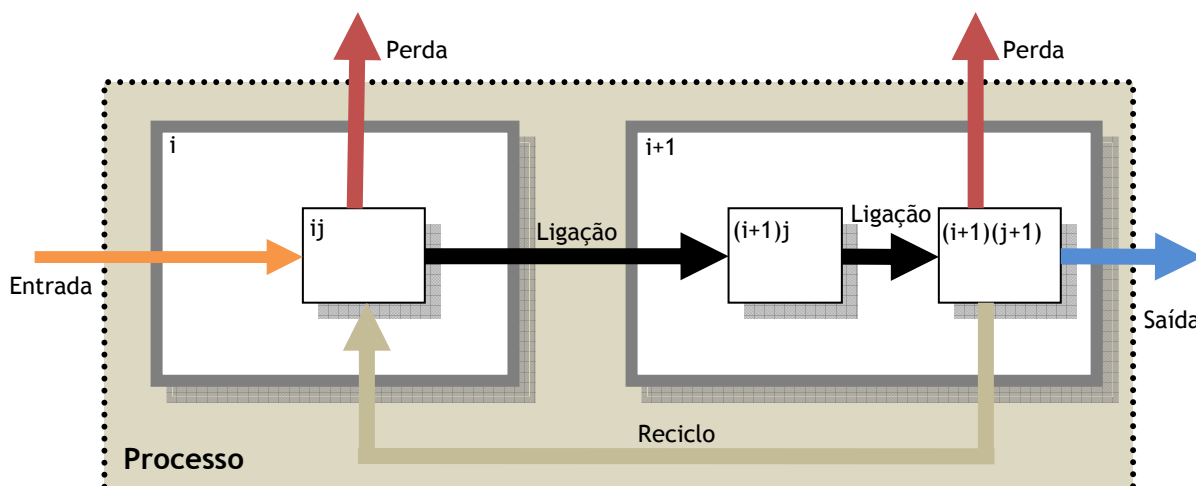


Figura 3.3 - Representação de um processo detalhado ao nível do sub-sub-processo com a indicação dos diferentes tipos de fluxo que podem ocorrer.

Em cada sub-processo existem várias actividades cuja utilização resulta na produção de poluentes. De acordo com o modelo (ver Equações 3.2, 3.3 e 3.4) estas actividades podem ser directamente dependentes da massa do material que serve como base de cálculo (AL), corresponder ao consumo do próprio material, ou ser independente desse mesmo material pelo que, consoante o caso devem ser introduzidos os factores de actividade ou taxa de actividade para cada actividade em cada sub-processo.

Identificadas as actividades e os poluentes produzidos, devem ser introduzidos os factores de emissão a considerar para cada poluente produzido por uma actividade num dado sub-processo. Cada poluente identificado pode contribuir ou não para um determinado potencial impacte ambiental pelo que deverá ser indicado se o poluente x contribui para o impacte potencial considerado.

Entre os métodos de redução passíveis de serem implementados em cada processo, existem os que reduzem apenas as emissões de um dado poluente e os que para além de diminuírem as emissões geram também novas actividades. Enquanto para as opções de redução do primeiro caso basta definir o factor de redução RF , para o segundo caso é necessário identificar as novas actividades geradas e o seu factor ou taxa de actividade. Cabe também ao utilizador identificar quais as actividades que estão em uso devido ao facto de existirem técnicas de redução de poluição que são mutuamente exclusivas.

Para o cálculo dos custos de implementação de actividades de redução de poluição será necessário introduzir os preços das actividades e da matéria-prima.

3.2.2 Processamento e Saídas

O algoritmo implementado tem os seguintes pressupostos:

- As correntes de saída (base de cálculo) do processo são conhecidas e quantificáveis;
- As correntes de perdas e reciclagem são especificadas percentualmente em relação à corrente de entrada do sub-processo em análise;
- As perdas são especificadas de acordo com o estado físico das mesmas. Ou seja se num dado processo existirem perdas sólidas e gasosas as mesmas serão especificadas individualmente e não em conjunto;
- O fluxo entre (sub-)sub-processos é sempre em série.

Na etapa de processamento serão calculados valores das correntes desconhecidas, as emissões de poluente e os impactes ambientais potenciais relativos aos sub-processos e à globalidade do processo. A sequência de cálculo utilizada foi a seguinte:

- i. Em cada processo é contabilizado o número de correntes que entram e saem desse mesmo processo bem como o número de correntes já especificadas;
- ii. Em todos os sub-processos é avaliada a possibilidade de cálculo da corrente desconhecida e, caso ela exista, é determinado o valor da referida corrente.
- iii. Os passos 1 e 2 são repetidos até que todas as correntes desconhecidas sejam determinadas;
- iv. O passo seguinte será o cálculo das emissões em cada sub-processo aplicando as Equações 3.1 a 3.4;
- v. Determinadas as emissões em cada sub-processo, pode-se agora calcular a emissão total de um poluente x no processo considerado utilizando a Equação 3.5;
- vi. De forma semelhante ao cálculo das emissões por processo, são determinados os impactes potenciais de cada sub-processo através da Equação 3.6;
- vii. Finalmente, será avaliado o potencial impacto ambiental global através da Equação 3.7;
- viii. Esta primeira sequência define o processo no seu estado inicial, sem implementação de opções de redução. Uma vez identificadas as possibilidades de utilização de métodos de redução para as actividades utilizadas é efectuado o recálculo das emissões, utilizando as Equações 3.7 a 3.9, e os novos impactos potenciais após a implementação das medidas de redução;
- ix. São calculados os custos de implementação de opções de redução de poluição com base nas Equações 3.12 a 3.17.

4 Resultados e Discussão

4.1 Caso de Estudo: Fundição injectada de alumínio

Neste capítulo apresenta-se a aplicação da ferramenta desenvolvida, com a metodologia descrita no capítulo anterior, a uma unidade de fundição injectada de alumínio. Este caso de estudo serviu para validar a aplicação desenvolvida por comparação dos resultados com os obtidos, para o mesmo caso de estudo, na aplicação EstimatER.

Os dados sobre os processos de produção, dos materiais e energias utilizados foram retirados de (Neto, 2007). Com estes dados foi possível caracterizar o processo de produção de alumínio em termos de processos, fluxos e actividades que o constituem.

Na Figura 4.1 são identificados os processos e os fluxos de massa considerados neste estudo. Como se pode verificar o processo foi subdividido em 5 sub-processos e em 11 sub-sub-processos. A classificação por tipo de fluxo e a especificação de cada uma das correntes que foram identificadas no processo é apresentada na Tabela 4.1. No balanço material ao alumínio que circula no processo foi considerada uma base de cálculo de 2920 ton.ano⁻¹ de produtos (corrente nº13).

Tabela 4.1 - Classificação e especificação das correntes de cada sub-processo

ID	Tipo de corrente	Valor (ton/ano)	% *
1	Entrada		100
2	Reciclagem		7,52
3	Reciclagem		40,32
4	Perdas		0,079
5	Perdas		1,54
6	Ligação		100
7	Perdas		0,00049
8	Ligação		100
9	Reciclagem		6,05
10	Ligação		100
11	Ligação		100
12	Ligação		100
13	Saída	2920	100
14	Ligação		100
15	Perdas		3,89

% Relativa ao valor da corrente de entrada do sub-processo em estudo

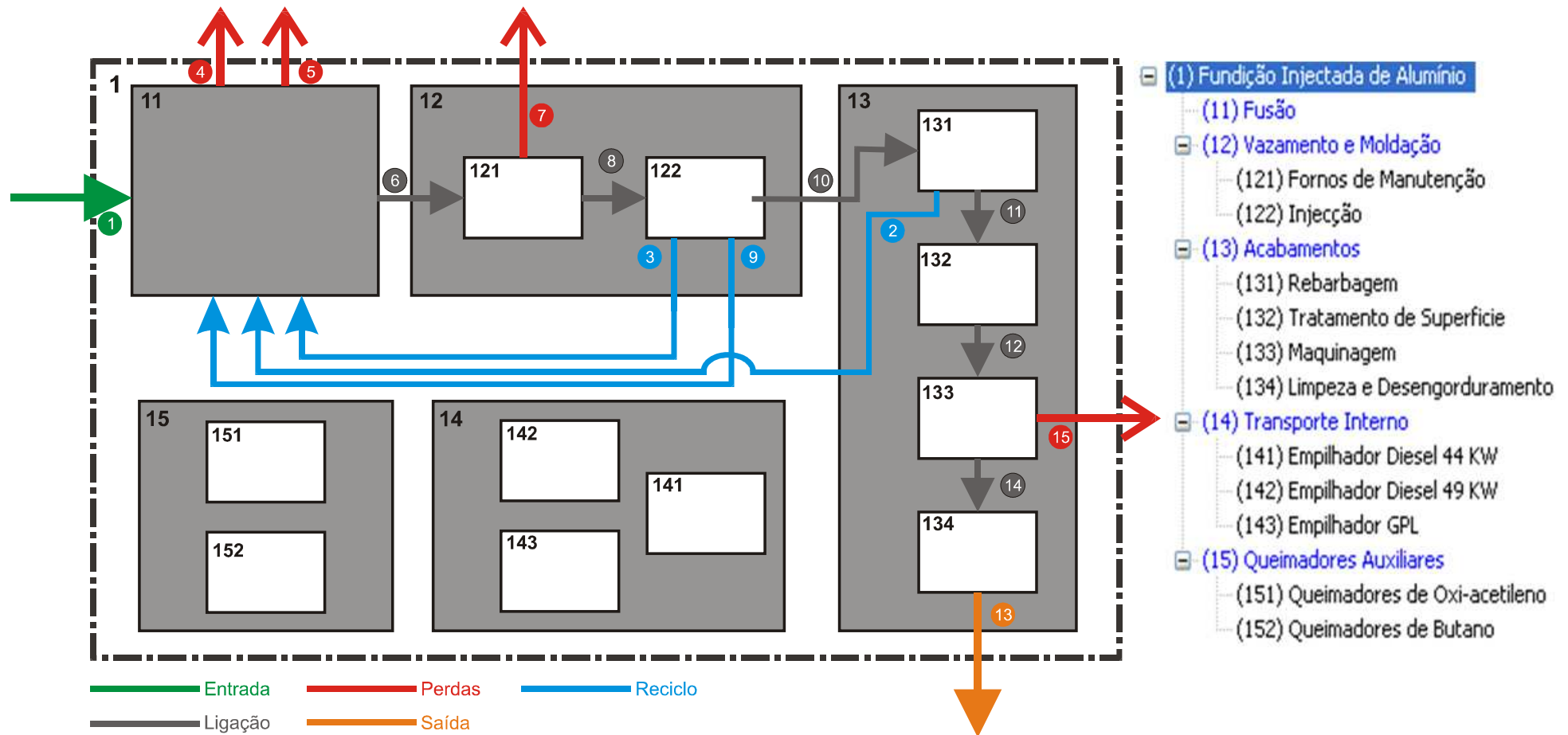
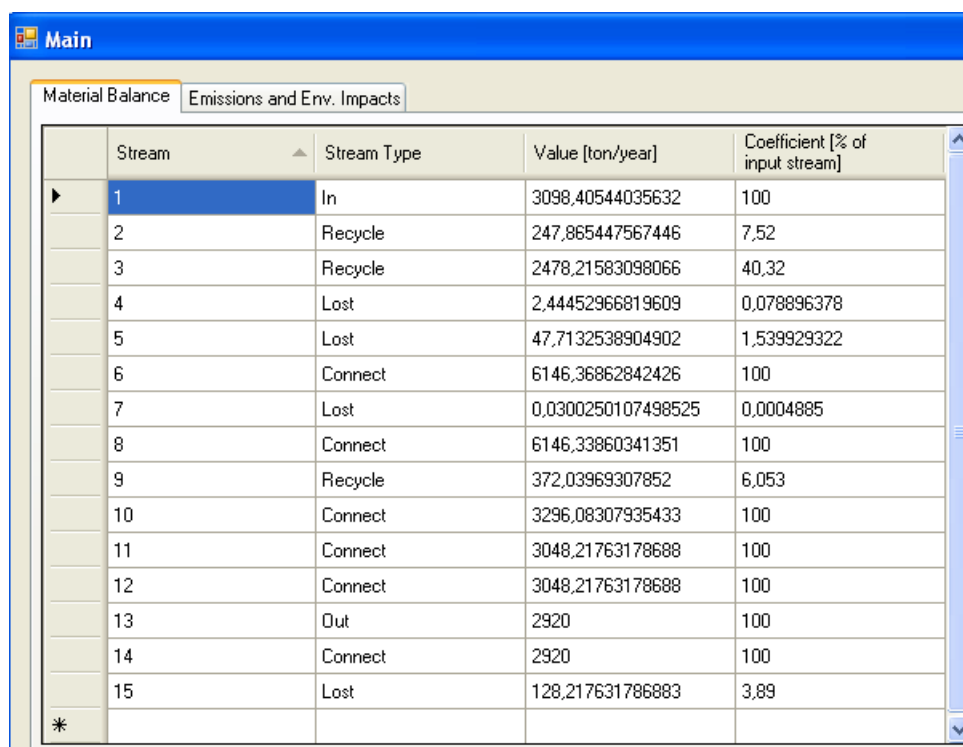


Figura 4.1 - Diagrama de processo para a unidade de fundição injectada de alumínio

Uma vez definidos os processos e identificados os fluxos do processo, foi possível efectuar o balanço material ao alumínio e calcular os resultados de fluxo de alumínio em cada corrente do processo. Na Figura 4.2 apresentam-se os resultados obtidos.



Stream	Stream Type	Value (ton/year)	Coefficient [% of input stream]
1	In	3098,40544035632	100
2	Recycle	247,865447567446	7,52
3	Recycle	2478,21583098066	40,32
4	Lost	2,44452966819609	0,078896378
5	Lost	47,7132538904902	1,539929322
6	Connect	6146,36862842426	100
7	Lost	0,0300250107498525	0,0004885
8	Connect	6146,33860341351	100
9	Recycle	372,03969307852	6,053
10	Connect	3296,08307935433	100
11	Connect	3048,21763178688	100
12	Connect	3048,21763178688	100
13	Out	2920	100
14	Connect	2920	100
15	Lost	128,217631786883	3,89
*			

Figura 4.2 - Resultados calculados para o fluxo de alumínio nas correntes do processo.

Os passos seguintes foram a identificação das actividades que ocorrem em cada sub-processo, os poluentes que estas geram e os problemas ambientais associados.

Para cada actividade foi indicado o seu factor de actividade (AF) ou a sua taxa de actividade (ACT), consoante a mesma é ou não dependente da massa de alumínio que entra no sub-processo em que esta ocorre.

A Figura 4.3 mostra algumas das actividades, factores e taxas de actividade identificadas por sub-processo. A coluna “Active” dá ao utilizador a hipótese de definir se determinada actividade está ou não a ser utilizada no processo. Esta possibilidade será discutida com mais detalhe quando se mencionar a implementação de opções de redução de poluição.

Process Activities

Process:

Activity:

Activity Factor/Rate

Value: ☐ Activity Rate

Unit: ☐ Activity Factor

Add

Process id	Activity	Activity Factor	Activity rate	Unit	Active
134	Antifoam	0,000342		L/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
134	Sodium hydroxide	0,000243		L/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
134	Polyelectrolyte	0,000197		L/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
134	Flocculation agent	0,003		L/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
134	Water	0,0075		m3/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
141	Diesel I		834,6624	GJ/year	<input checked="" type="checkbox"/>
142	Diesel II		483,801226	GJ/year	<input checked="" type="checkbox"/>
143	LPG		882,7624	GJ/year	<input checked="" type="checkbox"/>
151	Acetylene		5,94048	GJ/year	<input checked="" type="checkbox"/>

Remove

Figura 4.3 - Exemplo de identificação das actividades e respectivos factores de actividade/taxa de actividade para cada processo.

Uma vez definidas as actividades por processo é necessário indicar os poluentes gerados por cada actividade e o tipo de impacte ambiental que vai gerar. A Figura 4.5 mostra a identificação geral dos poluentes e problemas ambientais gerados por sub-processo e actividade.

Activities	Sub-Process	Pollutants	Environmental problems
Alloy Degassing flux Desoxidation agent Natural gas	Melting	Aluminum; Aluminum Dross; Cadmium; Carbon Dioxide; Carbon Monoxide; Chromium; Copper; Hydrogen Fluoride; Lead; Natural Gas; Nickel; Nitrogen Oxides; NMVOC	Human Toxicity Abiotic Depletion Global Warming Solid Waste Acidification Terrestrial Ecotoxicity Photochemical Ozone Formation
Alloy Ceramic lining Mould release agent	Casting	Aluminum; Ceramic Lining Wasted; Chromium; Copper; Iron; Lead; Liquid Effluent; NMVOC; Oils and Grease; Sludge; Zinc	Human Toxicity Solid Waste Terrestrial Ecotoxicity Photochemical Ozone Formation Aquatic Toxicity
Alloy Ceramic abrasives Steel Shot	Finishing	Ceramic Abrasives; Liquid Effluent; Oils and Grease; Sludge; Steel Shot	Solid Waste Aquatic Toxicity
Diesel I Diesel II LPG	Internal Transport	Carbon Dioxide; Carbon Monoxide; Nitrogen Oxides; NMVOC; Particulates; Sulfur Dioxide	Human Toxicity Global warning Acidification Photochemical Ozone Formation Terrestrial Ecotoxicity
Acetylene Butane	Auxiliary Burners	Carbon Dioxide; Carbon Monoxide; Nitrogen Oxides; NMVOC; Particulates	Human Toxicity Global Warning Acidification Photochemical Ozone Formation Terrestrial Ecotoxicity

Figura 4.4 - Actividades, poluentes e problemas ambientais gerados por sub-processo.

Ao nível da aplicação, cada poluente identificado terá de ter subjacente a actividade que o gerou e o factor de emissão desse poluente para aquela actividade específica. A Figura 4.5 mostra a forma como é introduzida esta informação na aplicação. Note-se que o mesmo poluente pode ser gerado por mais que uma actividade.

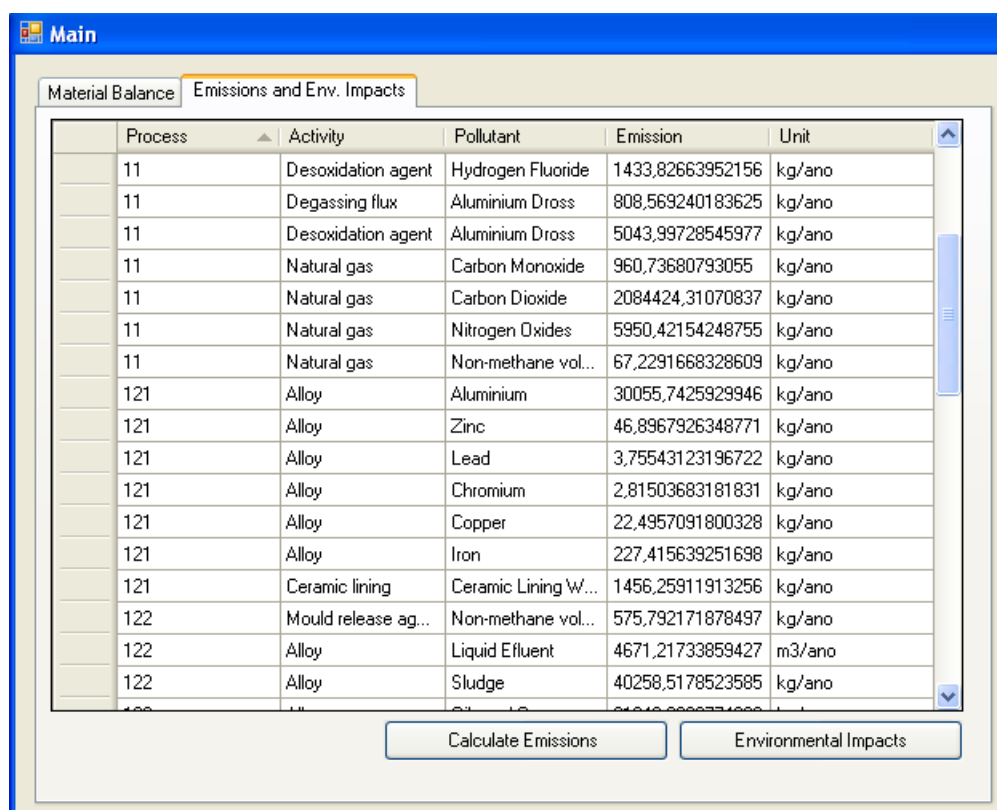
	Process	Activity	Pollutant	Emission factor	Unit	RF
▶	11	Alloy	Aluminium	0,3945	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Aluminium Dr...	18,1	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Cadmium	0,00019583	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Chromium	0,000124	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Copper	0,00168	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Lead	0,000947	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Nickel	0,000151	kg/ton	0,0
	11	Degassing flux	Aluminium Dr...	0,949	ton/ton	0,0
	11	Degassing flux	Hydrogen Flu...	0,0534	kg/kg	0,0
	11	Desoxidation...	Aluminium Dr...	0,788	ton/ton	0,0
	11	Desoxidation...	Hydrogen Flu...	0,224	kg/kg	0,0

Figura 4.5 - Exemplo de identificação dos poluentes gerados e respectivos factores de emissão.

Os factores de emissão utilizados foram os indicados em Neto (2007). Estes factores de emissão são específicos do processo e foram determinados na sua maioria por medições efectuadas na unidade em estudo. Nos casos em que não foi possível efectuar medições, os factores de emissão foram estimados a partir de literatura, de balanços de massa ou obtidos junto de fornecedores.

A coluna “RF” está relacionada com a implementação de opções de redução de poluição e será discutida com mais detalhe mais à frente.

Nesta fase já se dispõe de dados suficientes para calcular as emissões anuais de cada processo. A Figura 4.6 mostra parcialmente os resultados calculados para as emissões em cada processo. Nesta figura pode-se também verificar qual a actividade associada à emissão de um dado poluente.



Process	Activity	Pollutant	Emission	Unit
11	Desoxidation agent	Hydrogen Fluoride	1433,82663952156	kg/ano
11	Degassing flux	Aluminium Dross	808,569240183625	kg/ano
11	Desoxidation agent	Aluminium Dross	5043,99728545977	kg/ano
11	Natural gas	Carbon Monoxide	960,73680793055	kg/ano
11	Natural gas	Carbon Dioxide	2084424,31070837	kg/ano
11	Natural gas	Nitrogen Oxides	5950,42154248755	kg/ano
11	Natural gas	Non-methane vol...	67,2291668328609	kg/ano
121	Alloy	Aluminium	30055,7425929946	kg/ano
121	Alloy	Zinc	46,8967926348771	kg/ano
121	Alloy	Lead	3,75543123196722	kg/ano
121	Alloy	Chromium	2,81503683181831	kg/ano
121	Alloy	Copper	22,4957091800328	kg/ano
121	Alloy	Iron	227,415639251698	kg/ano
121	Ceramic lining	Ceramic Lining W...	1456,25911913256	kg/ano
122	Mould release ag...	Non-methane vol...	575,792171878497	kg/ano
122	Alloy	Liquid Effluent	4671,21733859427	m3/ano
122	Alloy	Sludge	40258,5178523585	kg/ano

Figura 4.6 - Resultados calculados para as emissões anuais

Uma vez calculadas as emissões anuais de cada poluente é então possível aplicar a metodologia de avaliação de impacte ambiental (Caracterização, Normalização e Ponderação) para calcular os impactes potenciais de cada sub-processo (Equação 3.6).

Em primeiro lugar, são definidas as categorias de impactes a avaliar, respectivos factores de normalização e os factores de caracterização para cada poluente, conforme se pode verificar pelo exemplo apresentado na Figura 4.7.

Em segundo lugar, são escolhidos os métodos de valorização para os impactes ambientais e definidos os seus factores de ponderação. Foram quatro os métodos considerados nesta etapa, nomeadamente: i) Todos os problemas ambientais são igualmente importantes, ii) Método de Painel I (Kamp, 2005), iii) Método de Painel II (Kortman *et al.*, 1994) e iv) Distância ao alvo (Goedkoop, 1995). Na Figura 4.8 apresenta-se, como exemplo, os factores de ponderação utilizados no Método de Painel II. Para os restantes métodos foram também definidos os respectivos factores de ponderação.

Concluídas estas etapas o impacte ambiental para cada sub-processo e o impacte global do processo pode ser calculado. Os resultados obtidos para as quatro metodologias de valorização são apresentados na Figura 4.9.

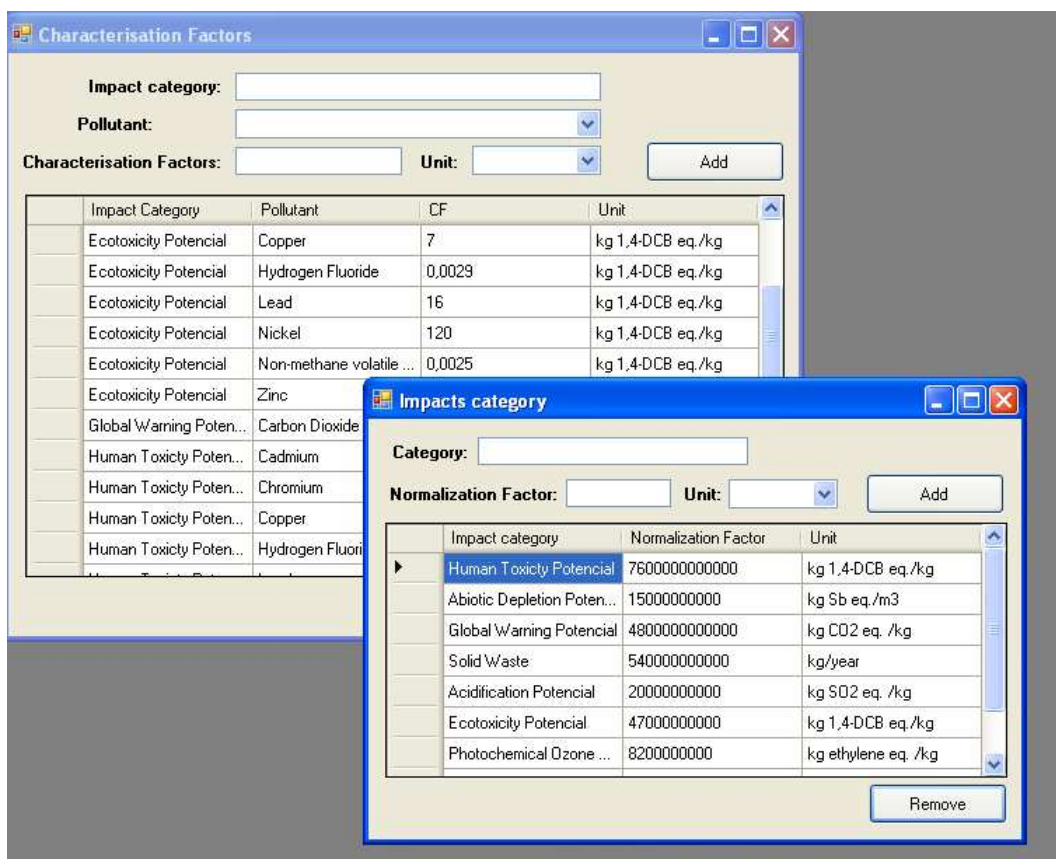


Figura 4.7 - Definição dos factores de caracterização e normalização.

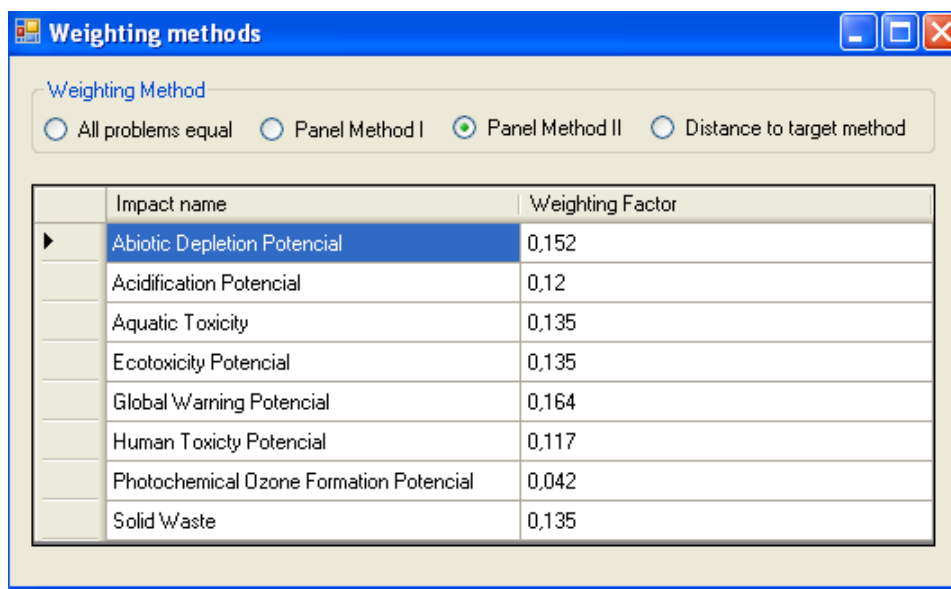


Figura 4.8 - Indicação dos factores de ponderação para o Método de Painel II.

Environmental Impacts

Weighting Method
☒ All problems equal ☐ Panel Method I ☐ Panel Method II ☐ Distance to target method

Process id	HTP	ADP	GWP	AP	ECP	POCP	ATP	SW	Overall Impact
11	1,3345E-007	1,2485E-007	5,4282E-008	3,3390E-008	7,1460E-009	3,3175E-009	0,0000E+0...	2,7318E-008	3,8375E-007
121	1,5912E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,4536E-008	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,3710E-010	1,8399E-007
122	1,3258E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,8284E-012	3,2739E-009	1,3271E-012	1,6575E-008	1,5244E-007
132	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,7711E-017	1,6615E-009	1,6615E-009
134	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	6,2075E-015	7,7623E-011	7,7630E-011
141	5,7749E-009	0,0000E+0...	1,6719E-009	2,0971E-009	1,6649E-013	4,2942E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	9,9735E-009
142	7,8045E-009	0,0000E+0...	1,2056E-009	1,4393E-009	2,2517E-013	4,0061E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0850E-008
143	4,0944E-009	0,0000E+0...	1,5513E-009	4,6069E-009	1,1739E-013	7,3689E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0990E-008
151	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0489E-011	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0489E-011
152	3,0296E-011	0,0000E+0...	8,1619E-011	1,0302E-011	8,7294E-016	2,3429E-012	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,2456E-010
Total	4,4285E-007	1,2485E-007	5,8803E-008	4,1544E-008	3,1686E-008	8,1607E-009	1,3333E-012	4,5969E-008	7,5386E-007

Environmental Impacts

Weighting Method
☐ All problems equal ☒ Panel Method I ☐ Panel Method II ☐ Distance to target method

Process id	HTP	ADP	GWP	AP	ECP	POCP	ATP	SW	Overall Impact
11	1,2704E-007	1,4282E-007	6,6875E-008	3,4726E-008	6,8030E-009	2,5744E-009	0,0000E+0...	2,6006E-008	4,0685E-007
121	1,5148E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,3358E-008	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,2092E-010	1,7516E-007
122	1,2622E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,6446E-012	2,5406E-009	1,2846E-012	1,5780E-008	1,4454E-007
132	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,6824E-017	1,5818E-009	1,5818E-009
134	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	6,0088E-015	7,3897E-011	7,3903E-011
141	5,4977E-009	0,0000E+0...	2,0598E-009	2,1810E-009	1,5850E-013	3,3323E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0072E-008
142	7,4298E-009	0,0000E+0...	1,4853E-009	1,4969E-009	2,1437E-013	3,1087E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0723E-008
143	3,8979E-009	0,0000E+0...	1,9112E-009	4,7912E-009	1,1175E-013	5,7183E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,1172E-008
151	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,2922E-011	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,2922E-011
152	2,9842E-011	0,0000E+0...	1,0056E-010	1,0714E-011	8,3104E-016	1,8181E-012	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,4193E-010
Total	4,2160E-007	1,4282E-007	7,2445E-008	4,3205E-008	3,0165E-008	6,3327E-009	1,2906E-012	4,3763E-008	7,6033E-007

Environmental Impacts

Weighting Method
☐ All problems equal ☐ Panel Method I ☒ Panel Method II ☐ Distance to target method

Process id	HTP	ADP	GWP	AP	ECP	POCP	ATP	SW	Overall Impact
11	1,2491E-007	1,5181E-007	7,1218E-008	3,2054E-008	7,7177E-009	1,1147E-009	0,0000E+0...	2,9503E-008	4,1833E-007
121	1,4893E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,6499E-008	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,6406E-010	1,7580E-007
122	1,2410E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	4,1347E-012	1,1000E-009	1,4332E-012	1,7901E-008	1,4311E-007
132	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,9928E-017	1,7944E-009	1,7944E-009
134	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	6,7041E-015	8,3833E-011	8,3840E-011
141	5,4053E-009	0,0000E+0...	2,1936E-009	2,0132E-009	1,7981E-013	1,4428E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	9,7566E-009
142	7,3050E-009	0,0000E+0...	1,5817E-009	1,3817E-009	2,4319E-013	1,3461E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0403E-008
143	3,8324E-009	0,0000E+0...	2,0353E-009	4,4226E-009	1,2678E-013	2,4760E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0538E-008
151	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,3761E-011	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,3761E-011
152	2,8357E-011	0,0000E+0...	1,0708E-010	9,8899E-012	9,4277E-016	7,8723E-013	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,4612E-010
Total	4,1451E-007	1,5181E-007	7,7149E-008	3,9882E-008	3,4221E-008	2,7420E-009	1,4399E-012	4,9647E-008	7,6996E-007

Environmental Impacts

Weighting Method
☐ All problems equal ☐ Panel Method I ☐ Panel Method II ☒ Distance to target method

Process id	HTP	ADP	GWP	AP	ECP	POCP	ATP	SW	Overall Impact
11	1,2597E-007	1,1785E-007	2,5621E-008	6,2773E-008	6,7458E-009	3,1317E-009	0,0000E+0...	2,5788E-008	3,6789E-007
121	1,5021E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,3162E-008	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,1822E-010	1,7369E-007
122	1,2516E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,6140E-012	3,0906E-009	1,2527E-012	1,5647E-008	1,4390E-007
132	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,6159E-017	1,5685E-009	1,5685E-009
134	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	5,8599E-015	7,3276E-011	7,3282E-011
141	5,4515E-009	0,0000E+0...	7,8915E-010	3,9425E-009	1,5717E-013	4,0537E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0589E-008
142	7,3674E-009	0,0000E+0...	5,6904E-010	2,7059E-009	2,1256E-013	3,7818E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,1021E-008
143	3,8652E-009	0,0000E+0...	7,3220E-010	8,6610E-009	1,1081E-013	6,9563E-010	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,3954E-008
151	0,0000E+0...	0,0000E+0...	4,9506E-012	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	4,9506E-012
152	2,8600E-011	0,0000E+0...	3,8524E-011	1,9368E-011	8,2405E-016	2,2117E-012	0,0000E+0...	0,0000E+0...	8,8704E-011
Total	4,1805E-007	1,1785E-007	2,7755E-008	7,8102E-008	2,9912E-008	7,7037E-009	1,2586E-012	4,3395E-008	7,2278E-007

Figura 4.9 - Impactes ambientais calculados para as quatro metodologias de valorização utilizadas.

Como se pode verificar na Tabela 4.2, a diferença entre o impacte ambiental global calculado pela aplicação desenvolvida e o calculado pelo Estimater é praticamente nula.

Tabela 4.2 - Comparação do impacte global do processo calculado pela aplicação do autor com o obtido utilizando o Estimater.

Método de valorização	Impacte Global x 10 ⁶ (adimensional)	
	Estimater	Aplicação do autor
Todos os problemas ambientais são igualmente importantes	0,753719	0,753862
Método de Paine I	0,760196	0,760331
Método de Paine II	0,769830	0,769964
Distância ao alvo	0,722652	0,722775

Como foi dito anteriormente, a implementação de opções de redução de poluição poder ser feita por aplicação de técnicas que introduzem um factor de redução nas emissões, pela alteração do factor de emissão ou pela modificação das taxas de actividade. Para demonstrar estes casos simulou-se a implementação de três técnicas de redução de poluição, nomeadamente:

1. Utilização de um filtro de mangas no sub-processo Fusão;
2. Substituição do agente sólido de desgasificação do sub-processo fusão por um agente gasoso (N₂ / Cl₂);
3. Substituir, no sub-processo transporte interno, os empilhadores a diesel ou GPL por empilhadores eléctricos;

Na primeira opção, a utilização de um filtro de mangas permite reter os poluentes emitidos na forma de partículas introduzindo por isso um factor de redução nas emissões destes poluentes. Para o caso apresentado, o filtro vai reter os metais pesados emitidos no sub-processo fusão, para os quais é definido um factor de redução conforme assinalado na Figura 4.10.

Emission Factors

Process:

Activity:

Pollutant:

Emission Factor: Unit:

	Process	Activity	Pollutant	Emission factor	Unit	RF
▶	11	Alloy	Aluminium	0,3945	kg/ton	99,9
	11	Alloy	Cadmium	0,00019583	kg/ton	99,0
	11	Alloy	Chromium	0,000124	kg/ton	99,0
	11	Alloy	Lead	0,000947	kg/ton	99,0
	11	Alloy	Nickel	0,000151	kg/ton	99,0
	11	Alloy	Aluminium Dr...	18,1	kg/ton	0,0
	11	Alloy	Copper	0,00168	kg/ton	0,0
	11	Degassing flux	Aluminium Dr...	0,949	ton/ton	0,0
	11	Degassing flux	Hydrogen Flu...	0,0534	kg/kg	0,0
	11	Desoxidation...	Aluminium Dr...	0,788	ton/ton	0,0
	11	Desoxidation...	Hydrogen Flu...	0,224	kg/kg	0,0

Figura 4.10 - Factor de redução para os metais afectados pela utilização de um filtro de tecido.

Para além do factor de redução introduzido, gera-se um novo resíduo sólido que terá de ser considerado na categoria dos impactes relativos aos resíduos sólidos.

A implementação da segunda opção de redução de poluição vai diminuir, relativamente ao caso base, a taxa de actividade do agente de degasificação (substituição) e gerar uma actividade extra (N_2 / Cl_2). A actividade “ N_2 / Cl_2 ” será então considerada activa e a actividade “Degassing Flux” será desactivada, tal como apresentado na Figura 4.11. Esta nova actividade gera outro poluente (Cl_2) que deve ser considerado nos cálculos das emissões e impactes ambientais.

The screenshot shows a software window titled "Process Activities". It contains a form at the top for adding new activities and a table below for existing ones.

Form Fields:

- Process:** A dropdown menu.
- Activity:** A text input field.
- Activity Factor/Rate:** A section with two radio buttons: "Activity Rate" and "Activity Factor".
- Value:** A text input field.
- Unit:** A dropdown menu.
- Add:** A button to add a new activity.

Table:

	Process id	Activity	Activity Factor	Activity rate	Unit	Active
	11	Degassing flux	0,1375		kg/ton	<input type="checkbox"/>
	11	Natural gas	5,166425		GJ/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
▶	11	N2CL2	65		L/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
	11	Alloy	1		kg/kg	<input checked="" type="checkbox"/>
	11	Desoxidation...	1,033		kg/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
	121	Alloy	1		kg/kg	<input checked="" type="checkbox"/>
	121	Ceramic lining	0,2494		kg/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
	122	Water	1,03		m3/ton	<input checked="" type="checkbox"/>
	122	Flocculation ...	0,25		L/ton	<input checked="" type="checkbox"/>

Remove: A button at the bottom right of the table.

Figura 4.11 - Activação/desactivação de actividades por efeito de opções de redução de poluição.

Para além da redução da taxa de actividade, esta opção reduz a emissão de dois poluentes associados à utilização do agente de desgasificação sólido.

A terceira opção de redução actua directamente sobre o factor de emissão, uma vez que com a substituição dos empilhadores a Diesel e GPL por empilhadores eléctricos passa-se a ter zero emissões de gases poluentes. Dito de outra forma, o factor de emissão dos poluentes associados à utilização destes empilhadores passa a ser zero.

As três opções de redução de poluição apresentadas não são mutuamente exclusivas podendo, por isso, ser implementadas em simultâneo. Por esse facto apresentam-se agora na Figura 4.12 os resultados dos impactes potenciais considerando as três opções implementadas, e apenas para o método de valorização em que “Todos os problemas ambientais são igualmente importantes”.

Environmental Impacts										
Weighting Method										
<input checked="" type="radio"/> All problems equal <input type="radio"/> Panel Method I <input type="radio"/> Panel Method II <input type="radio"/> Distance to target method										
	Process id	HTP	ADP	GWP	AP	ECP	POCP	ATP	SW	Overall Impact
▶	11	8,5189E-008	1,2485E-007	5,4282E-008	3,2933E-008	2,7472E-010	3,3175E-009	0,0000E+0...	2,7130E-008	3,2797E-007
	121	1,5912E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,4536E-008	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,3710E-010	1,8399E-007
	122	1,3258E-007	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	3,8284E-012	3,2739E-009	1,3271E-012	1,6575E-008	1,5244E-007
	132	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	2,7711E-017	1,6615E-009	1,6615E-009
	134	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	6,2075E-015	7,7623E-011	7,7630E-011
	141	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...
	142	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...
	143	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...
	151	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0489E-011	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,0489E-011
	152	3,0296E-011	0,0000E+0...	8,1619E-011	1,0302E-011	8,7294E-016	2,3429E-012	0,0000E+0...	0,0000E+0...	1,2456E-010
Total		3,7632E-007	1,2485E-007	5,4374E-008	3,2944E-008	2,4814E-008	6,5938E-009	1,3333E-012	4,5781E-008	6,6627E-007

Figura 4.12 - Impactes ambientais calculados considerando a implementação das três opções de redução de poluição. A azul estão destaca-se as diferenças relativas ao caso base.

Como se pode verificar na Figura 4.13, os processos afectados pelas opções de redução de poluição diminuíram as suas contribuições para o impacto global do processo.

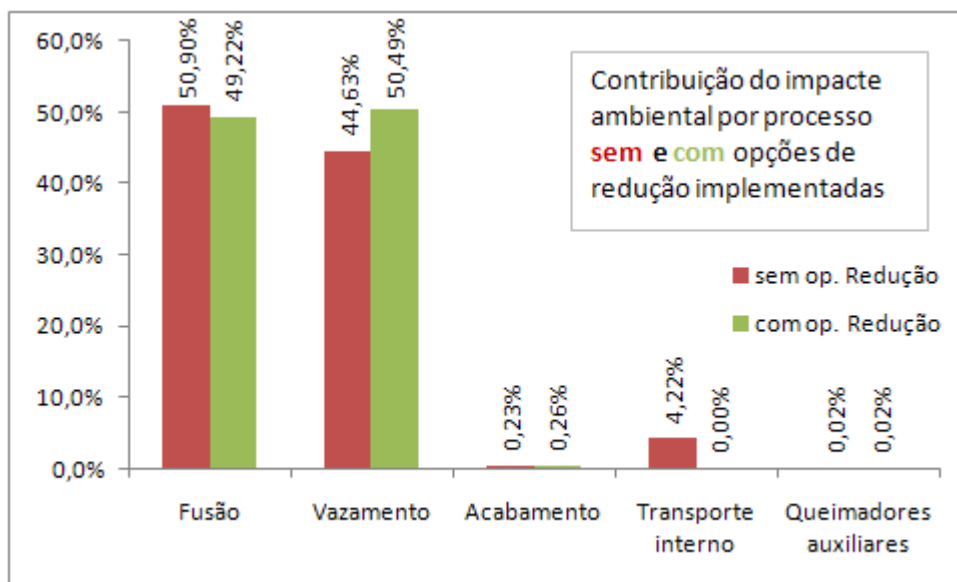


Figura 4.13 - Contribuição dos impactes ambientais por processo com e sem opções de redução implementadas considerando o método “Todos os problemas ambientais são igualmente importantes”.

A comparação dos resultados obtidos, considerando implementadas as três opções de redução de poluição mencionadas anteriormente é apresentada na Tabela 4.3. Como facilmente se pode observar, as diferenças de resultados continuam a ser pequenas.

Tabela 4.3 - Comparação do impacte global do processo calculado pela aplicação do autor com o obtido utilizando o EstimatER, com opções de redução de poluição implementadas.

Método de valorização	Impacte Global x 10 ⁶ (adimensional)	
	EstimatER	Aplicação do autor
Todos os problemas ambientais são igualmente importantes	0,666877	0,666274
Método de Painel I	0,675802	0,675227
Método de Painel II	0,686682	0,686034
Distância ao alvo	0,634715	0,634134

5 Conclusões

A aplicação desenvolvida, após caracterização do processo, foi capaz de determinar os fluxos de alumínio no processo e com base nesses valores calcular as emissões de poluentes por processo e respectivos impactes para os quatro métodos de ponderação utilizados no cálculo do impacte ambiental. Foi também possível avaliar casos de implementação de opções de redução de poluição obtendo-se novos valores de emissão e de impactes ambientais.

No caso de estudo que serviu de base à validação da aplicação desenvolvida, a diferença dos resultados obtidos com a aplicação desenvolvida foram inferiores a 0,1% relativamente aos resultados obtidos com o EstimatER. Estas pequenas diferenças são devidas sobretudo a arredondamentos de alguns dos factores de actividade introduzidos na aplicação.

Na aplicação desenvolvida existem duas limitações relacionadas com as opções redução de poluição.

A primeira limitação é a impossibilidade de serem avaliados os custos inerentes à implementação de opções de redução (Equação 3.12 a 3.17). Esta limitação deve-se apenas ao facto deste módulo não ter sido ainda desenvolvido.

A segunda limitação está relacionada com as opções de redução de poluição que são mutuamente exclusivas. Nestes casos a aplicação não identifica a restrição de utilização de uma ou mais opções considerando as seleccionadas nos cálculos efectuados. Esta limitação apenas pode ser ultrapassada com intervenção directa do utilizador.

Apesar das limitações apontadas a aplicação desenvolvida possui vantagens em relação às outras aplicações anteriores. Estas são essencialmente a tentativa de generalização da aplicação informática, a flexibilidade para um utilizador definir e caracterizar novos processos e o suporte numa base de dados que permite dotar a aplicação de bibliotecas disponíveis para a caracterização de novos processos.

Estas inovações, relativamente ao trabalho anterior, são importantes para a generalização da aplicação informática a outras empresas do mesmo sector ou sectores industriais distintos.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objectivos Realizados

O objectivo proposto para este trabalho era desenvolver uma ferramenta informática que permitisse avaliar as opções de redução de poluição de um dado processo através do cálculo das emissões de poluentes, da avaliação dos impactes ambientais e pela estimativa dos custos de implementação da opção de redução.

Com a aplicação desenvolvida, depois de caracterizado o processo, é possível,

- calcular as emissões de poluentes em cada uma das suas etapas,
- determinar o impacte ambiental global ou em cada um das etapas que constituem o processo,
- avaliar as alterações de emissões e de impactes devido à implementação de opções de redução de poluição,

não é possível,

- avaliar os custos de implementação de opções de redução de poluição.

Assim, pode-se considerar que os objectivos propostos foram maioritariamente cumpridos.

6.2 Limitações e Trabalho Futuro

Dada a importância que os custos de implementação de opções de redução de poluição assumem no momento de tomar decisões, é fundamental desenvolver o módulo que permite estimar o custo de implementação de cada opção de redução de poluição.

Relativamente à implementação de actividades de redução de poluição será conveniente evoluir o código de forma a introduzir algumas restrições para que não seja possível implementar simultaneamente duas opções de redução que sejam mutuamente exclusivas. Actualmente essa restrição terá de ser efectuada pelo utilizador.

Hoje em dia, a interface gráfica de uma aplicação informática é fundamental para o seu sucesso. Sugere-se por isso, que seja desenvolvida uma interface gráfica de utilização mais intuitiva, sobretudo na definição dos sub-processos e na identificação dos fluxos entre sub-processos.

A possibilidade de produzir relatórios e/ou exportar dados para uma folha de cálculo deve ser também considerada no futuro de forma a melhorar a funcionalidade da aplicação.

Por último, será importante o alargamento da aplicação informática à utilização de outros casos de estudo associados com, por exemplo, outras empresas de sectores industriais distintos do usado no caso de estudo de modo a evidenciar a flexibilidade da aplicação desenvolvida.

6.3 Apreciação final

A possibilidade de utilizar uma ferramenta que permite avaliar as várias alternativas de redução de poluição em simultâneo com a estimativa do impacto económico, é um factor bastante importante do ponto de vista da gestão ambiental de uma empresa. Considerando as possibilidades actuais da aplicação pode-se considerar que o trabalho desenvolvido é mais um passo no sentido de satisfazer as necessidades da gestão ambiental nas empresas.

Face aos resultados obtidos pode-se considerar que a aplicação desenvolvida passou o primeiro teste de validação e está pronta para ser testada com outros casos de estudo.

7 Referências

- ETC/ACC, 2001. European Topic Centre on Air and Climate Change e Topic Centre of European Environment Agency. Disponível em: http://air-climate.eionet.eu.int/country_tools/ae/EstimatER.htm (acedido 25/02/09).
- Goedkoop, M., 1995. The Eco-indicator 95, final report. The Netherlands.
- Kamp, W. van de, 2005. Environmental Impact of Organically Produced Tomatoes in Wintertime; Imported from Spain versus Home-grown in Glasshouses. Master thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Kortman, J.G.M., Lindeijer, E.W., Sas, H., Sprengers, M., 1994. Towards a Single Indicator for Emissions - An Exercise in Aggregating Environmental Effects. IVAM, Interfaculty Department of Environmental Sciences University of Amsterdam, The Netherlands.
- Neto, B.A.F., 2007. "MIKADO, A Decision Support Tool for Pollution Reduction in Aluminium Pressure Die Casting", Tese de Doutorado, Universidade de Wageningen. Países Baixos.
- Rizzoli, E., Young, W.J., 1997. "Delivering environmental decision support systems: software tools and techniques". Environmental Modelling & Software, Vol. 12, Nos 2-3, pp. 237-249.
- Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliet, O., Rydberg, T., Rebitzer, G., 2004. Life cycle assessment part 2: current impact assessment practice. Environmental International 30, 721-739.
- Xavier, L.H., Cardoso, R., Xavier, V.A. "Sistemas informatizados como ferramenta para o monitoramento e a gestão ambiental". XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.

Anexo 1 Manual de Utilização da Aplicação

Uma vez iniciada a aplicação, surge no ecrã a janela apresentada na Figura A1.

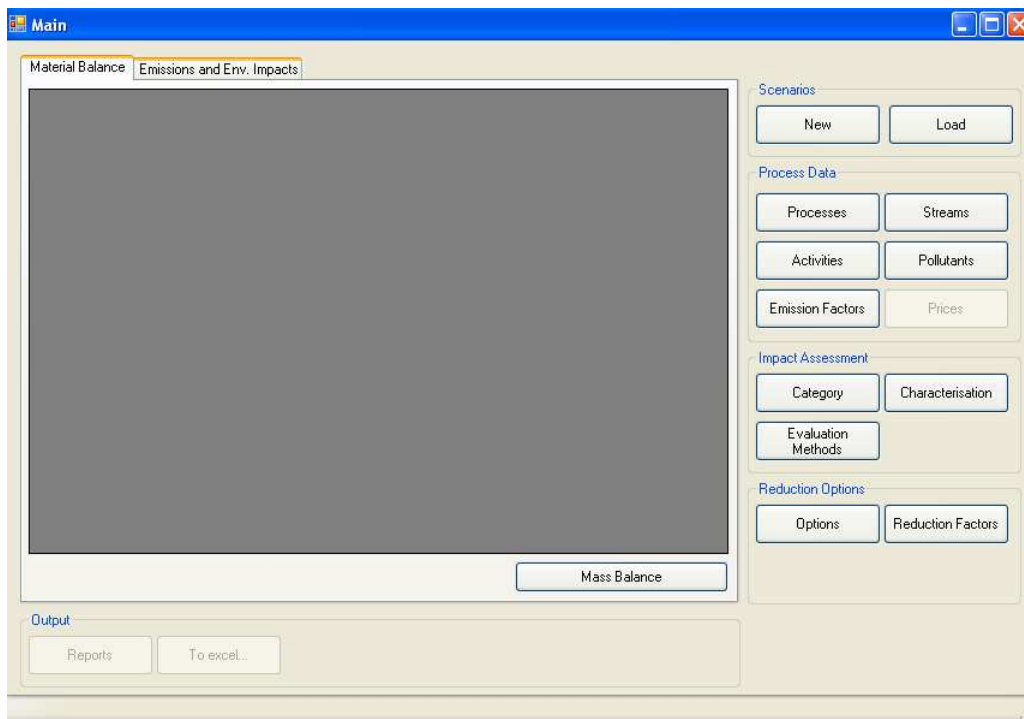


Figura A1 - Janela principal da aplicação.

O ecrã principal da aplicação está dividido basicamente em 4 grupos de opções:

1. “**Scenarios**”:

Grupo de opções para criação de novos cenários ou para carregar cenários previamente guardados.

Ao pressionar o botão “New”, o utilizador inicia a construção de um novo cenário de avaliação. Deve indicar o nome do cenário, para acesso futuro, e é criada a base de dados de suporte da aplicação.

O botão “Load”, como o próprio nome indicia serve para carregar cenários previamente gravados.

2. “**Process Data**”:

As opções presentes no grupo “Process Data” servem para o utilizador caracterizar o processo em avaliação.

Na opção “Processes”, Figura A2, o utilizador efectua a identificação dos vários sub-processos, introduzindo a sua numeração (ver Secção 3.2.1) e respectivo nome de identificação.

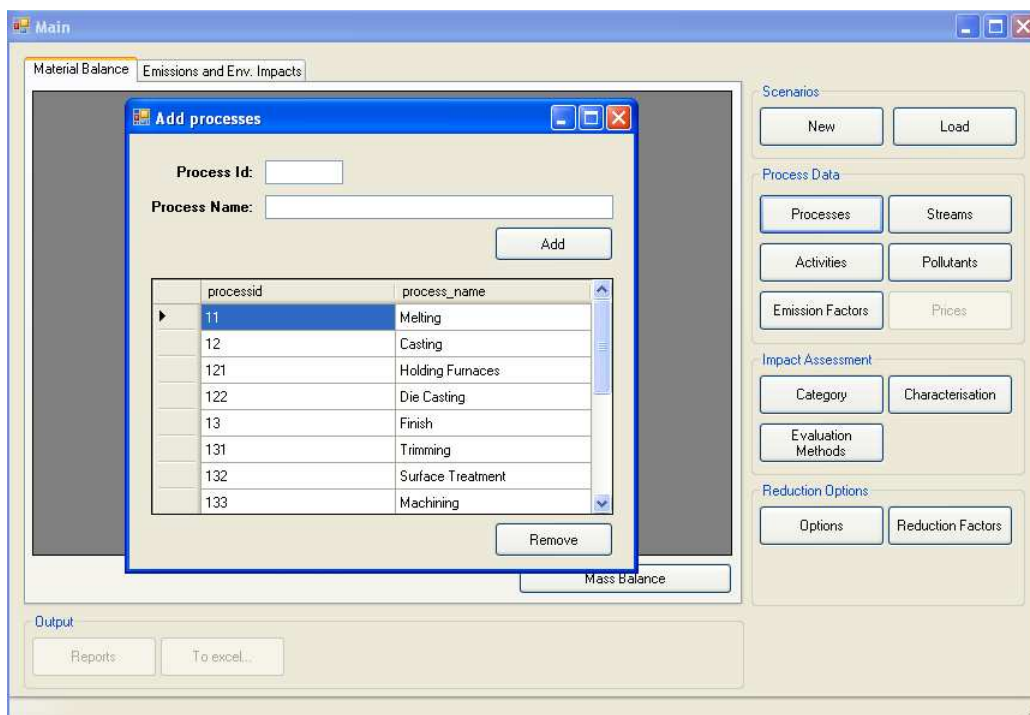


Figura A2 - Formulário para introdução de sub-processos.

Em seguida, o utilizador deve identificar e especificar as correntes existentes no processo. Para isso deve accionar a opção “Streams”, surgindo-lhe no ecrã a janela apresentada na Figura A3. Nesta janela, após identificar as correntes do processo o utilizador deve pressionar o botão “Inputs / Outputs” com o objectivo de identificar as correntes de entrada e saída nos sub-processos (Figura A4).

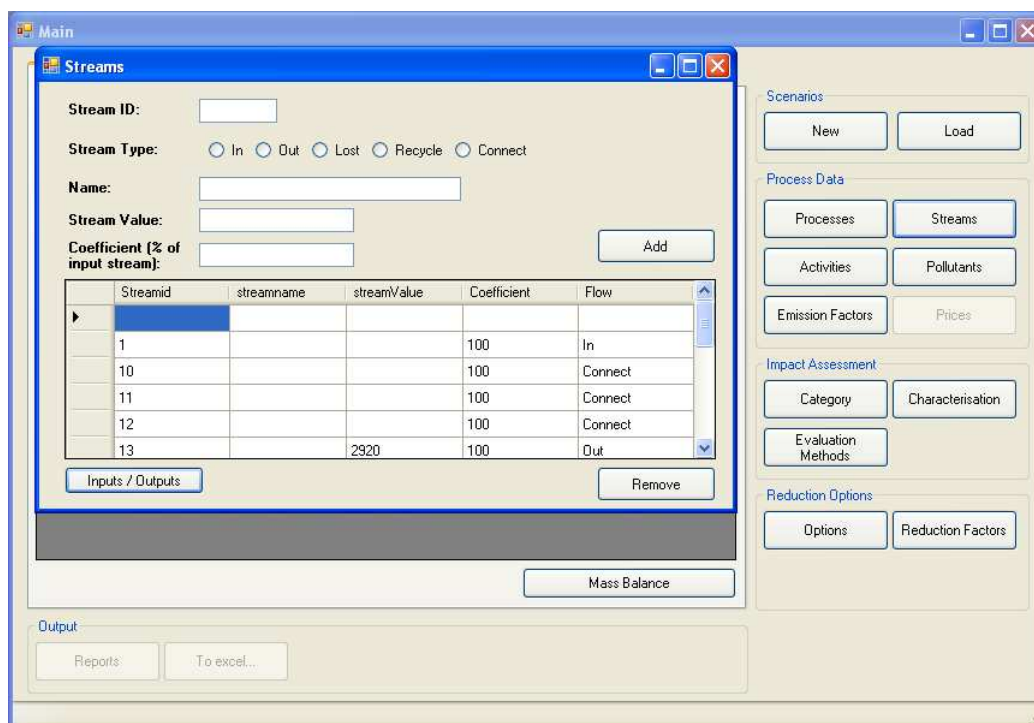


Figura A3 - Janela de caracterização das correntes

Stream Input / Output

Stream ID:

Stream Type: ☐ In ☐ Out ☐ Lost ☐ Recycle ☐ Connect

Name:

Stream Value:

Inputs

processid	process_name	Stream	streamname
11	Melting	1	
11	Melting	2	
11	Melting	3	
11	Melting	9	
12	Casting	6	
121	Holding Furn...	6	
122	Die Casting	8	
13	Finish	10	
131	Trimming	10	
132	Surface Trea...	11	
133	Machining	12	
134	Cleaning and...	14	

Outputs

processid	process_name	Stream	streamname
11	Melting	4	
11	Melting	5	
11	Melting	6	
12	Casting	10	
12	Casting	3	
12	Casting	7	
12	Casting	9	
13	Finish	13	
13	Finish	15	
13	Finish	2	

Figura A4 - Formulário para identificação das correntes de entrada e saída.

Uma vez especificadas as correntes, bem como as saídas e entradas nos sub-processos, já é possível efectuar o balanço material ao processo. Para isso o utilizador deverá pressionar o botão “Mass Balance” do ecrã principal da aplicação, devendo-se visualizar algo similar ao apresentado na Figura A5.

Main

Material Balance | Emissions and Env. Impacts

Stream	Stream Type	Value [ton/year]	Coefficient [% of input stream]
1	In	3098,40544035632	100
2	Recycle	247,865447567446	7,52
3	Recycle	2478,21583098066	40,32
4	Lost	2,44452966819609	0,078896378
5	Lost	47,7132538904902	1,539929322
6	Connect	6146,36862842426	100
7	Lost	0,0300250107498525	0,0004885
8	Connect	6146,33860341351	100
9	Recycle	372,03969307852	6,053
10	Connect	3296,08307935433	100
11	Connect	3048,21763178688	100
12	Connect	3048,21763178688	100
13	Out	2920	100
14	Connect	2920	100
15	Lost	128,217631786883	3,89

Mass Balance

Output: Reports To excel...

Operação concluída com sucesso.

Scenarios
New Load

Process Data
Processes Streams
Activities Pollutants
Emission Factors Prices

Impact Assessment
Category Characterisation
Evaluation Methods

Reduction Options
Options Reduction Factors

Figura A5 - Janela principal da aplicação com os resultados calculados para o balanço material.

Para poder efectuar o cálculo das emissões o utilizador tem ainda de identificar as Actividades activas em cada sub-processo e respectivos factores ou taxas de actividade (“Activities”, Figura A6), os poluentes envolvidos (“Pollutants”, Figura A7) e especificar os factores de emissão de cada poluente por actividade e por processo (“Emission Factors”, Figura A8).

The 'Process Activities' dialog box is shown with the following data in its table:

Process id	Activity	Activity Factor	Activity rate	Unit	Active
11	Degassing flux	0,138		kg/ton	✓
11	Natural gas	5,166425		GJ/ton	✓
11	Alloy	1		kg/kg	✓
11	Desoxidation...	1,033		kg/ton	✓
121	Ceramic lining	0,2494		kg/ton	✓
121	Alloy	1		kg/kg	✓
122	Water	1,03		m3/ton	✓
122	Flocculation ...	0,25		L/ton	✓
122	Polyelectrolyte	0,02		L/ton	✓

Figura A6 - Formulário para identificação e caracterização das actividades por sub-processo.

The 'Pollutants' dialog box is shown with the following data in its list:

pollutantid	pollutantname
1	Aluminium
2	Cadmium
3	Nickel
4	Lead
5	Chromium
6	Copper
7	Hydrogen Fluoride
8	Aluminium Dross
9	Carbon Monoxide
10	Carbon Dioxide
11	Nitrogen Oxides
12	Non-methane volatile organic ...

Figura A7 - Formulário para identificação dos poluentes

Emission Factors

Process: Activity: Pollutant: Emission Factor: Unit: Add

Process	Activity	Pollutant	Emission factor	Unit
11	Alloy	Aluminium	0,3945	kg/ton
11	Alloy	Aluminium Dross	18,1	kg/ton
11	Alloy	Cadmium	0,00019583	kg/ton
11	Alloy	Chromium	0,000124	kg/ton
11	Alloy	Copper	0,00168	kg/ton
11	Alloy	Lead	0,000947	kg/ton
11	Alloy	Nickel	0,000151	kg/ton
11	Degassing flux	Aluminium Dross	0,949	ton/ton
11	Degassing flux	Hydrogen Fluoride	0,0534	kg/kg
11	Desoxidation ag...	Aluminium Dross	0,788	ton/ton
11	Desoxidation ag...	Hydrogen Fluoride	0,224	kg/kg

Remove

Scenarios
New Load

Process Data
Processes Streams
Activities Pollutants
Emission Factors Prices

Impact Assessment
Category Characterisation
Evaluation Methods

Reduction Options
Options Reduction Factors

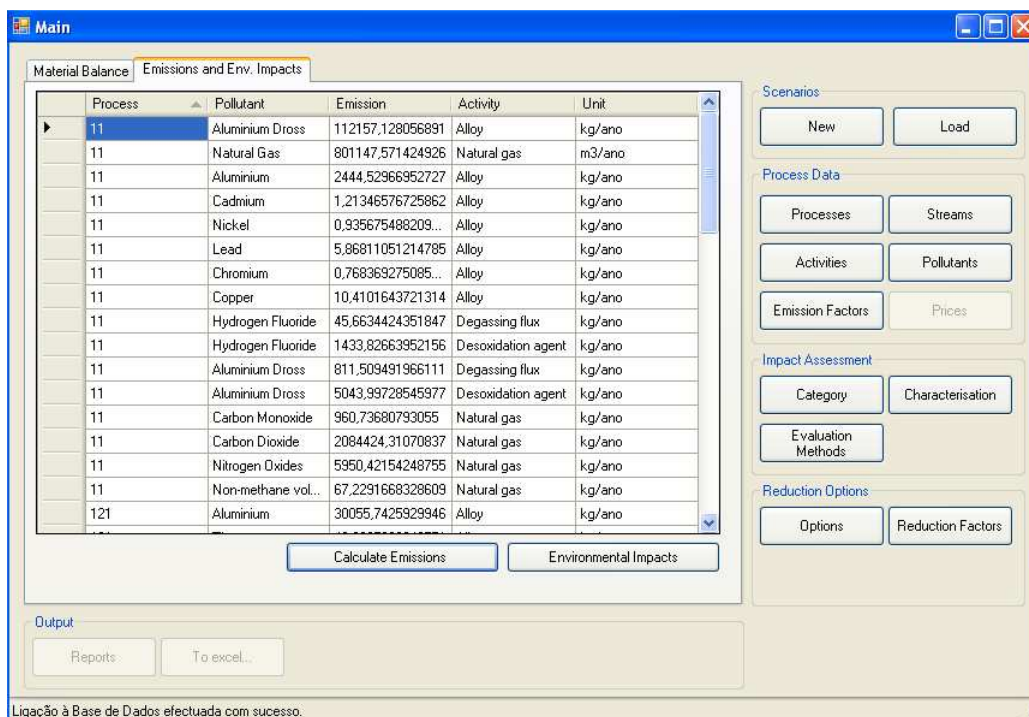
Figura A8 - Janela para introdução dos factores de emissão de cada poluente

Uma vez caracterizado o processo, as emissões de cada poluente por actividade e em cada sub-processo podem ser calculadas. Para tal, o utilizador deve pressionar o botão “Calculate Emissions”, na página “Emissions and Env. Impacts”, aparecendo a tabela de resultados semelhante à apresentada na Figura A9.

3. “Impact Assessment”:

Antes de proceder ao cálculo dos impactes ambientais o utilizador deve introduzir as categorias de impacto que vão ser utilizadas, bem como os respectivos factores de normalização, caracterização e ponderação. A opção “Category” do ecrã principal da aplicação chama o formulário de identificação das categorias e respectivos factores de normalização (Figura A10).

Pressionando o botão “Characterisation” do formulário principal, o utilizador pode introduzir ou indicar os poluentes que contribuem para uma dada categoria de impacte ambiental e respectivo factor de caracterização (Figura A11). Os métodos de valorização e respectivos valores de ponderação podem ser consultados e alterados accionando o botão “Evaluation Methods” do formulário principal (Figura A12).



Main

Material Balance | Emissions and Env. Impacts

Process	Pollutant	Emission	Activity	Unit
11	Aluminium Dross	112157,128056891	Alloy	kg/ano
11	Natural Gas	801147,571424926	Natural gas	m3/ano
11	Aluminium	2444,52966952727	Alloy	kg/ano
11	Cadmium	1,21346576725862	Alloy	kg/ano
11	Nickel	0,935675488209...	Alloy	kg/ano
11	Lead	5,86811051214785	Alloy	kg/ano
11	Chromium	0,768369275085...	Alloy	kg/ano
11	Copper	10,4101643721314	Alloy	kg/ano
11	Hydrogen Fluoride	45,6634424351847	Degassing flux	kg/ano
11	Hydrogen Fluoride	1433,82663952156	Desoxidation agent	kg/ano
11	Aluminium Dross	811,509491966111	Degassing flux	kg/ano
11	Aluminium Dross	5043,99728545977	Desoxidation agent	kg/ano
11	Carbon Monoxide	960,73680793055	Natural gas	kg/ano
11	Carbon Dioxide	2084424,31070837	Natural gas	kg/ano
11	Nitrogen Oxides	5950,42154248755	Natural gas	kg/ano
11	Non-methane vol...	67,2291668328609	Natural gas	kg/ano
121	Aluminium	30055,7425929946	Alloy	kg/ano

Calculate Emissions | Environmental Impacts

Output: Reports | To excel...

Ligação à Base de Dados efectuada com sucesso.

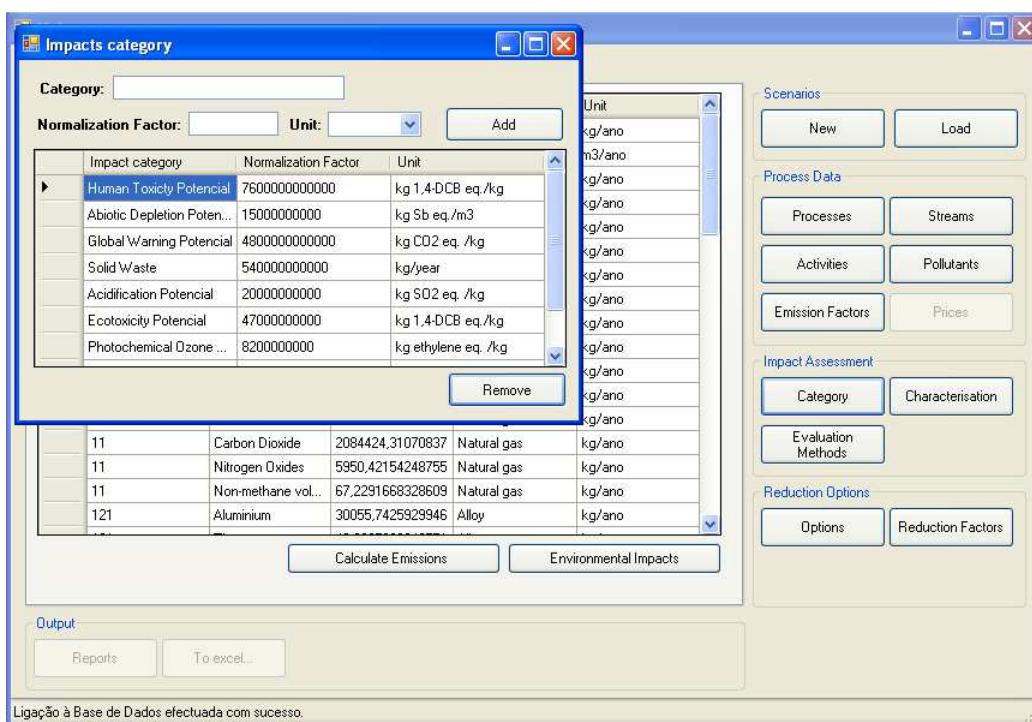
Scenarios
New | Load

Process Data
Processes | Streams
Activities | Pollutants
Emission Factors | Prices

Impact Assessment
Category | Characterisation
Evaluation Methods

Reduction Options
Options | Reduction Factors

Figura A9 - Resultados calculados das emissões.



Impacts category

Category:

Normalization Factor: Unit: Add

Impact category	Normalization Factor	Unit
Human Toxicity Potential	7600000000000	kg 1,4-DCB eq./kg
Abiotic Depletion Poten...	150000000000	kg Sb eq./m3
Global Warming Potential	4800000000000	kg CO2 eq./kg
Solid Waste	540000000000	kg/year
Acidification Potential	200000000000	kg SO2 eq./kg
Ecotoxicity Potential	470000000000	kg 1,4-DCB eq./kg
Photochemical Ozone ...	8200000000	kg ethylene eq./kg

Remove

Calculate Emissions | Environmental Impacts

Output: Reports | To excel...

Ligação à Base de Dados efectuada com sucesso.

Scenarios
New | Load

Process Data
Processes | Streams
Activities | Pollutants
Emission Factors | Prices

Impact Assessment
Category | Characterisation
Evaluation Methods

Reduction Options
Options | Reduction Factors

Figura A10 - Janela para identificação das categorias de impacte ambiental.

Characterisation Factors

Impact category:

Pollutant:

Characterisation Factors: Unit:

Impact Category	Pollutant	CF	Unit
Abiotic Depletion Pot...	Natural Gas	0,0187	kg Sb eq./m3
Acidification Potential	Hydrogen Fluoride	1,6	kg SO2 eq./kg
Acidification Potential	Nitrogen Oxides	0,5	kg SO2 eq./kg
Acidification Potential	Sulfur Dioxide	1,2	kg SO2 eq./kg
Aquatic Toxicity	Liquid Effluent	1	
Ecotoxicity Potential	Cadmium	81	kg 1,4-DCB eq./kg
Ecotoxicity Potential	Chromium	3000	kg 1,4-DCB eq./kg
Ecotoxicity Potential	Copper	7	kg 1,4-DCB eq./kg
Ecotoxicity Potential	Hydrogen Fluoride	0,0029	kg 1,4-DCB eq./kg
Ecotoxicity Potential	Lead	16	kg 1,4-DCB eq./kg
Ecotoxicity Potential	Nickel	120	kg 1,4-DCB eq./kg

Output:

Ligação à Base de Dados efectuada com sucesso.

Figura A11 - Formulário para introdução dos factores de caracterização.

Weighting methods

Weighting Method: ☒ All problems equal ☐ Panel Method I ☐ Panel Method II ☐ Distance to target method

Impact name	Weighting Factor
Abiotic Depletion Potential	0,125
Acidification Potential	0,125
Aquatic Toxicity	0,125
Ecotoxicity Potential	0,125
Global Warming Potential	0,125
Human Toxicity Potential	0,125
Photochemical Ozone Formation Potential	0,125
Solid Waste	0,125

121 Aluminium 30055,7425929946 Alloy kg/ano

Output:

Ligação à Base de Dados efectuada com sucesso.

Figura A12 - Janela com informação sobre os métodos de ponderação utilizados.

A aplicação reúne agora as condições para calcular os impactes ambientais por sub-processo, e para os diferentes métodos de valorização considerados. Para calcular e visualizar os impactes ambientais o utilizador deve pressionar o botão “Environmental Impacts” que se encontra na página “Emissions and Env. Impacts” do formulário principal. Deverá então surgir no ecrã um formulário com os resultados calculados (Figura A13).

4. “Impact Assessment”:

As opções de redução de poluição podem ser consultadas/adicionadas seleccionando o botão “Options” no formulário principal (Figura A14). Na versão actual da aplicação, ainda não é possível de forma automatizada introduzir/modificar os parâmetros devido à activação de uma opção de redução devendo os mesmos ser definidos pelo utilizador. Os factores de redução e alterações podem ser introduzidos/alterados a partir da opção “Reduction Factors” do formulário principal (Figura A15). No formulário de introdução de actividades (Figura A6) devem ser introduzidas as actividades extra e desactivadas as actividades que deixam de existir devido à implementação das diferentes opções de redução. Alterações de fluxos de massa devem ser introduzidas no formulário “Streams” (Figura A3).

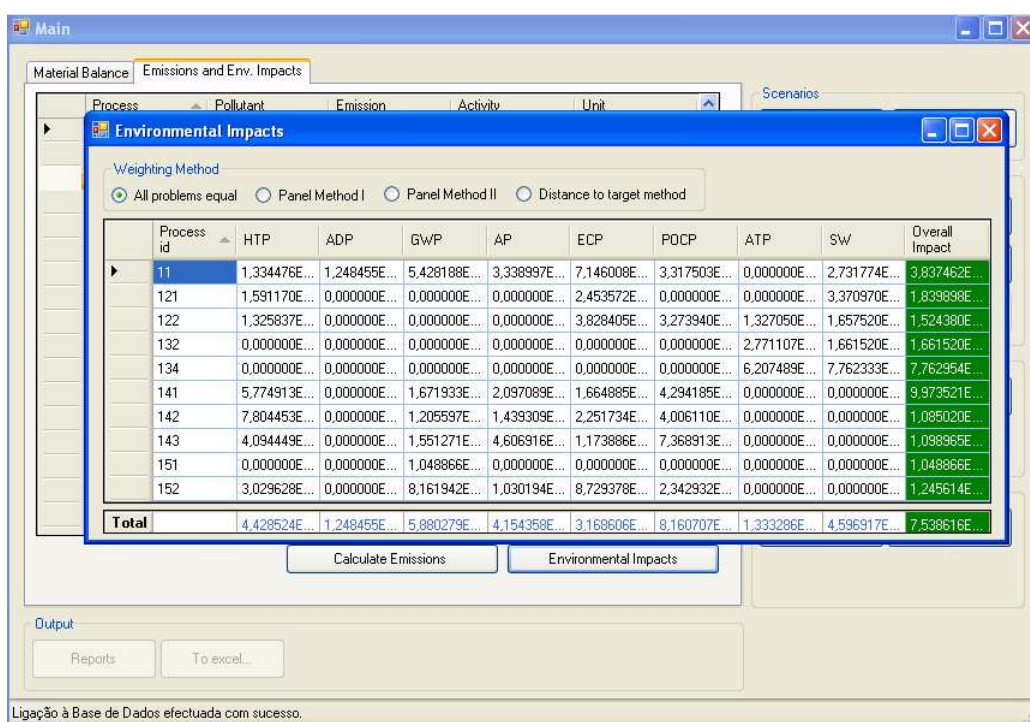


Figura A13 - Janela com resultados calculados para os impactes ambientais.

Process	Reduction_Option_Type	Reduction_Options
11	Filters and scrubbers	Fabric Filter. Reverse air type
11	Filters and scrubbers	Fabric Filter. Pulse-Jet type
11	Filters and scrubbers	Fabric Filter. Mechanical Shak...
11	Filters and scrubbers	Wet Scrubber. Impingement-PL...
11	Filters and scrubbers	Wet Scrubber. Spray-chamber...
11	Alternative desoxidation agent	Granular desoxidation agent
11	Alternative degassing technique	Impeller station using N2
11	Alternative metal loading in fur...	Compact metal loading in furn...
11	Combustion process modificati...	Air enrichment with oxygen (30...
122	Scrubbers	Wet Scrubber. Packed bed type
122	Alternative to mould release a...	New mould release agent
122	New die casting moulds	Reduce runners mass
122	Reduce scrap rate	Reduce scrap rate
131	Reduce scrap rate	Reduce scrap rate

Figura A14 - Formulário para identificação das opções de redução de poluição.

Process	Activity	Pollutant	Emission factor	Unit	RF
11	Alloy	Aluminium	0,3945	kg/ton	0,0
11	Alloy	Aluminium Dr...	18,1	kg/ton	0,0
11	Alloy	Cadmium	0,00019583	kg/ton	0,0
11	Alloy	Chromium	0,000124	kg/ton	0,0
11	Alloy	Copper	0,00168	kg/ton	0,0
11	Alloy	Lead	0,000947	kg/ton	0,0
11	Alloy	Nickel	0,000151	kg/ton	0,0
11	Degassing flux	Aluminium Dr...	0,949	ton/ton	0,0
11	Degassing flux	Hydrogen Flu...	0,0534	kg/kg	0,0
11	Desoxidation...	Aluminium Dr...	0,798	ton/ton	0,0
11	Desoxidation...	Hydrogen Flu...	0,224	kg/kg	0,0
11	Natural gas	Carbon Dioxide	65,11	kg/GJ	0,0
11	Natural gas	Carbon Mono...	0,03001	kg/GJ	0,0
11	Natural gas	Natural Gas	25,025	m3/GJ	0,0
11	Natural gas	Nitrogen Oxid...	0,18587	kg/GJ	0,0
11	Natural gas	Non-methane...	0,0021	kg/GJ	0,0
121	Alloy	Aluminium	4,89	kg/kg	0,0
121	Alloy	Chromium	0,000458	kg/ton	0,0

Figura A15 - Janela para introdução dos factores de redução e de emissão.